

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 11 月 6 日 (06.11.2003)

PCT

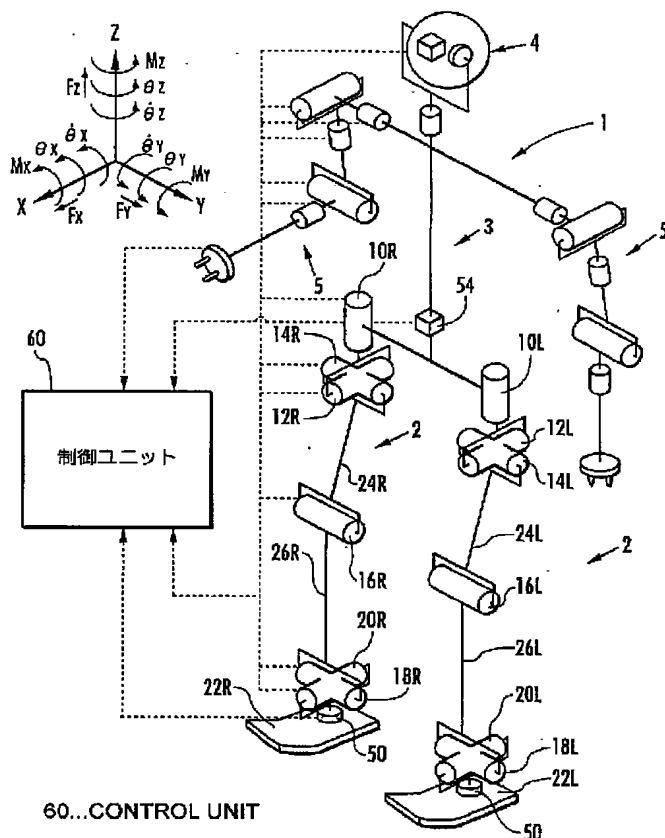
(10) 国際公開番号
WO 03/090980 A1

- (51) 国際特許分類⁷: B25J 5/00 KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒107-8556 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/05448
- (22) 国際出願日: 2003 年 4 月 28 日 (28.04.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-127066 2002 年 4 月 26 日 (26.04.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社 (HONDA GIKEN KOGYO
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹中 透 (TAKE-NAKA, Toru) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 松本 隆志 (MATSUMOTO, Takashi) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 佐藤 辰彦, 外 (SATO, Tatsuhiko et al.); 〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-1-1 新宿マインズタワー16階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, KR, US.

[続葉有]

(54) Title: SELF-POSITION ESTIMATING DEVICE FOR LEG TYPE MOVABLE ROBOTS

(54) 発明の名称: 脚式移動ロボットの自己位置推定装置



(57) Abstract: On the basis of a deviation between the detected or estimated value of the actual attitude of a predetermined region of the upper body (3) or the like of a robot (1), and the posture of a target gait, the amount of attitude rotation deviation change as the amount of time-dependent change in this deviation is found. Supposing that the robot (1) has turned around a certain axis of rotation by this amount of rotation deviation change, the position of the robot (1) (for example, ground-engaging position) is estimated. Further, the accuracy of the estimated position is improved by correcting the estimated position of the robot (1) by inertial navigation system according to the difference between this estimated position and the position of the robot (1) estimated by inertial navigation system using an acceleration sensor or the like.

[続葉有]



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

ロボット1の上体3等の所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と、目標歩容の姿勢との偏差を基に、その偏差の時間的変化量としての姿勢回転偏差変化量を求め、この回転偏差変化量だけ、ロボット1が、ある回転中心回りに回転したと想定して、ロボット1の位置（例えば、接地位置）を推定する。さらに、この推定位置と加速度センサ等を用いる慣性航法的によるロボット1の推定位置との差に応じて慣性航法によるロボット1の推定位置を補正することで、推定位置の精度を高める。

明 細 書

脚式移動ロボットの自己位置推定装置

技術分野

本発明は、脚式移動ロボットの自己位置を推定する装置に関する。

5

背景技術

脚式移動ロボットでは、移動中に脚体を振ることによる反力によって、足平（脚体先端部）と床の間の摩擦力が限界となって、足平と床の間で回転滑り（スピン）が生じ、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれるという問題が従来よりあった。

補足すると、上体が常に鉛直（直立）を維持して、直線歩行する目標歩容だけが生成されるとは限らない。目標歩容においても、ロボット全体または上体は旋回したり、前後左右に傾いたりする。すなわち、目標歩容においても、全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が存在する。そこで、本明細書では、目標歩容における姿勢回転を目標姿勢回転と呼ぶ。本明細書で主に問題とする現象は、実際のロボットの全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が、前記目標姿勢回転からずれることである。この現象を、厳密に表現するならば、「目標姿勢回転からの摂動」あるいは「姿勢回転摂動」と呼ぶべきであるが、目標姿勢回転と混同する恐れがない場合には、以降、これを「姿勢回転」と省略する。

なお、以降、特に、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれる現象をスピンと呼ぶ。

また、ロボットの走行を行う場合には、全脚体が床から離れて空中に

存在する時期（空中期）において、ロボットの鉛直方向の位置も目標歩容からずれ易かった。

ロボットの目標歩容の軌道、すなわち目標経路からロボットがずれないようにするためには、自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

また、ビデオカメラ等の環境認識装置を搭載していても、地図情報にあらかじめ登録してあるランドマーク等の注視すべき対象物を画像のある所定の位置（画像の中央等）に捉えるためには、自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

10 また、ビデオカメラ等の環境認識装置によって、環境に設定されたグローバル座標系（ロボットの移動環境の床に対して固定された座標系）における対象物の位置を計測するためには、グローバル座標系における自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

15 ビデオカメラ等の環境認識装置を用いなくて、自己位置・姿勢を推定する方法としては、ロケットなどの誘導に用いられている慣性航法装置が知られている。

しかし、慣性航法装置においては、加速度センサの検出値を2階積分することにより位置が推定されるので、積分誤差の蓄積が大きくなりやすい。そのため、加速度センサに極めて高い検出精度が要求される。また、慣性航法装置を用いるためには、初期状態においてロボットを静的に床（地面）に固定することによって、ロボットの位置、速度の初期値を0としてから、移動を開始する必要がある。しかし、脚式移動ロボットにおいては、直立静止時でも、姿勢を安定化するために、常に各関節が微小ながら動き続けなければならないので、完全静止状態にすることが困難であった。したがって、位置、速度の初期値が完全には0にならない状態から慣性航法演算を開始することとなり、推定誤差が大きくな

りがちであった。

また、ロケットや航空機においては、衛星、地上のレーダーやビーコンなど、外部装置との相対位置関係から自己位置姿勢を修正するグローバル・ポジショニング・システム（GPS）が用いられている。ロボットにおいて、同様のシステムを導入することも可能ではあるが、ロボットの足平（脚先端部）の床からの高さ等をミリメートルやセンチメートルのオーダーで測定する程の精度を低コストで実現することは困難である。

本発明は、かかる背景に鑑みてなされたものであり、ロボットの自己位置を精度良く推定することができる自己位置推定装置を提供することを目的とする。特に、ロボットの運動加速度が水平方向や鉛直方向に激しく変動している状態、走行時などのように全脚体が床から離れている状態、または足底と床の間の回転滑りなどによってロボット全体に姿勢回転（またはスピン）が生じている状態においても、自己位置姿勢を精度良く推定することができる自己位置推定装置を提供することを目的とする。

また、ロボットの自己位置を精度よく推定した上で、その推定自己位置を利用して、ロボットに搭載されたビデオカメラ等の環境認識装置により対象物を環境認識装置の画像の適切な位置に捉えるように該環境認識装置の方向を制御する注視制御を適切に行うことをも可能とした自己位置推定装置を提供することを目的とする。

また、ランドマーク等あらかじめ正確な位置情報を有する対象物をビデオカメラ等の環境認識手段によって認識しつつ、それによって得た情報を基にロボットの推定自己位置の精度を高めることができる自己位置推定装置を提供することを目的とする。

さらに、推定した自己位置姿勢を利用することで、ビデオカメラ等の

環境認識手段により、床面や障害物などの位置姿勢あるいは形状を精度良く認識することができる自己位置推定装置を提供することを目的とする。

5 発明の開示

本発明の脚式移動ロボットの自己位置推定装置の第1発明は、前記の目的を達成するために、決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の目標姿勢との
10 差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段と、前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記ロボットの位置の推定値たる推定位置を決定する位置推定手段とを備えることを特徴とするもの
15 である。

この第1発明では、前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の目標姿勢との差である姿勢回転偏差の変化は、ある回転中心の回りにロボットの全体が前記姿勢回転偏差変化量で回転したことと同等であると想定される。実際、例
20 えばロボットの足平（脚体先端部）と床との間で回転すべり（スピン）が発生した場合には、それが、上記姿勢回転偏差の変化となって現れる。そして、本発明では、上記想定で、ロボットの推定位置を決定するので、上記回転すべり等によるロボットの実際の位置の変化を定量的に把握して、その実際の位置の推定値たる推定位置を決定できる。その結
25 果、精度のよいロボットの自己位置推定が可能となる。

なお、前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値は、例えば傾斜計、

ジャイロセンサ等のセンサを用いて検出もしくは推定したものでよいが、本発明で求めるロボットの推定位置、加速度センサの加速度検出値等を補助的に用いて適宜、補正したものであってもよい。所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値は、それを得る手段を問わず、基本的には所定の

5 部位の実姿勢を比較的精度よく表すものであればよい。このことは、第 1 発明以外の本発明においても同様である。

前記第 1 発明では、より具体的には、前記位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第 1 の座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第 2 の座標系を求める手段を備え、

10 前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第 1 座標系から見たロボット位置と前記第 2 座標系から見たロボットの推定位置とが同一になるようにグローバル座標系から見たロボットの推定位置を決定することが好ましい（第 2 発明）。なお、グローバル座標系はロ

15 ボットが移動する環境の床（地面）に対して固定された座標系である。

かかる第 2 発明によれば、前記第 1 座標系から見たロボット位置、すなわち、第 1 座標系上で、ロボットが回転すべり等を生じることなく、目標歩容の目標運動もしくは関節変位検出値もしくは関節変位目標値の通りに運動しているとした場合に該目標運動と関節変位検出値と関節変

20 位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握されるロボットの位置（第 1 座標系から見たロボットの位置）と、該第 1 座標系を前記回転中心回りに前記姿勢回転偏差変化量で回転させてなる第 2 座標系から見たロボットの推定位置とが同一になる（各座標系上での位置の各座標成分が両座標系で同じになる）ように、グローバル座標系から見たロボット

25 の推定位置が決定される。その結果、姿勢回転偏差の変化を適切に反映させてロボットの推定位置を決定でき、精度のよい推定位置を得ること

ができる。補足すると、前記第 1 座標系は、例えばロボットの着地動作により着地する脚体の足平の接地面近傍等に該ロボットの着地毎に設定される座標系（後述の実施形態で説明する支持脚座標系）でもよいが、前記グローバル座標系と同じ座標系でもよい。

- 5 上記第 1 又は第 2 発明では、前記所定の部位は、ロボットの上体（脚体が延設される基体）であることが好適である（第 3 発明）。これは、ロボットの回転すべり等による影響は、ロボットの上体の姿勢の変化として現れやすいからである。

- 10 また、第 1 ～第 3 発明では、前記姿勢回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことが好適である（第 4 発明）。これは、ロボットの位置は、ヨー方向の姿勢回転偏差の変化の影響を受け易いからである。

- 15 また、前記第 1 ～第 4 発明で、前記ロボットの目標歩容が、走行等のように、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であるときは、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標 Z M P のいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定することが好ましい（第 5 発明）。すなわち、空中期では、前記姿勢回転偏差の変化は、概ねロボットの重心を中心とする回転となる。
- 20 空中期以外の時期、すなわち、いずれかの脚体が接地している時期では、前記姿勢回転偏差の変化の回転中心は、概ね実床反力中心点（ロボットに実際に作用する全床反力の中心点）および目標 Z M P のいずれかの点の付近に存在する。従って、上記のように回転中心を決定することで、その回転中心が実状に合った適切なものとなり、ひいては、ロボットの
- 25 推定位置の精度を適切に確保することができる。

なお、目標歩容が、ロボットの歩行等のように空中期を持たない歩容

（常時、いずれかの脚体が接地する歩容）であるときには、前記回転中心は、例えば実床反力中心点および目標 Z M P のいずれかの点又はその近傍に決定すればよい。

第 1 ～ 第 5 発明の一つの形態では、例えば前記姿勢回転偏差算出手段
5 は、各瞬間の前記姿勢回転偏差変化量を逐次求める手段であり、前記位置推定手段は、その各瞬間の姿勢回転偏差変化量を用いて前記ロボットの各瞬間の推定位置を逐次決定する（第 6 発明）。これによれば、各瞬間の推定位置を逐次決定するので、ロボットの自己位置をほぼ連続的に把握することができる。なお、この第 6 発明では、姿勢回転偏差変化量
10 は、姿勢回転偏差の変化速度に相当するものとなる。

あるいは、他の一つの形態では、前記姿勢回転偏差算出手段は、前記ロボットの着地動作により該ロボットの脚体が着地する毎に、前回の脚体の着地から今回の脚体の着地までの期間における姿勢回転偏差変化量である着地間姿勢回転偏差変化量を求める手段であり、前記位置推定手
15 段は、該着地間姿勢回転偏差変化量を用いて各着地毎に前記ロボットの推定位置を決定する（第 7 発明）。

これによれば、ロボットの位置の安定性が高いものとなるロボットの着地毎にロボットの推定位置を決定するので、その推定位置の信頼性を高めることができる。

20 また、第 1 ～ 第 7 発明では、前記位置推定手段が推定するロボットの位置は、該ロボットの着地動作により着地した脚体の接地位置であることが好適である（第 8 発明）。ロボットの脚体の接地位置は、ロボットの上体等の部位に比べて微小変動を生じたりし難いため、安定性が高い。従って、その接地位置をロボットの位置として推定することで、信頼性
25 の高い推定位置を得ることができる。

さらに、前記第 1 ～ 第 8 発明では、前記ロボットに作用する床反力を

検出する床反力検出手段を備え、前記位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、少なくともその推定された変形量を用いて前記ロボットの推定位置を決定することが好適である（第 9 発明）。これによれば、ロボットに作用する床反力によるロボットの足平等の変形量を考慮してロボットの推定位置を決定するので、該推定位置の精度を高めることができる。

次に、本発明の自己位置推定装置の第 10 発明は、決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットに搭載された、並進加速度を検出する加速度センサと、前記ロボットに搭載された、慣性空間に対する角速度を検出する角速度センサと、前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかを基に前記ロボットの所定の部位又は前記ロボットの重心の鉛直位置の幾何学的推定値としての第 1 の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段と、少なくとも前記加速度センサの検出値と前記角速度センサの検出値とを基に慣性航法によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の鉛直位置の慣性航法的推定値としての第 2 の推定位置を決定すると共に、少なくとも前記第 1 の推定位置と第 2 の推定位置との差を基に第 2 の推定位置を補正する慣性航法的位置推定手段とを備えることを特徴とするものである。

この第 10 発明では、少なくとも前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とを基に前記所定の部位又は前記ロボットの重心の鉛直位置の幾何学的推定値（キネマティクス演算等によって求められる鉛直位置）としての第 1 の推定位置が決定される。さらに、少なくとも加速度センサの検出値と角速度センサの検出値とを基に慣性航法によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の鉛直位置の慣性航法的推定値としての第 2 の推定位置が決定される。

そして、このとき、第 2 の推定位置は、第 1 の推定位置との差を基に補正される。つまり、慣性航法とは異なる幾何学的な手法によって決定される第 1 の推定位置を用いて、慣性航法を基礎とする第 2 の推定位置が補正される。これにより、前記第 2 の推定位置に含まれやすいドリフト

5 (積分誤差の蓄積) を防止しつつ、第 2 の推定位置の精度を高めることができる。すなわち、前記所定の部位又は全体重心の鉛直位置の推定精度を高めることができる。

かかる第 10 発明では、前記第 3 発明と同様、前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることが好ましい (第 11 発明)。

10 また、第 10 又は第 11 発明では、前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段を備え、前記幾何学的位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定した変形量を用いて前記第 1 の推定位置を決定することが好ましい (第 12 発明)。これによれば、前記第 9 発明と同様に床反力によるロボットの変形量を考慮して第 1 の推定位置を決定するので、該第 1 の推定位置の精度を高めることができる。その結果、前記第 2 の推定位置のより適切な補正が可能となり、該第 2 の推定位置の精度も高めることができる。

15

また、第 10 ～第 12 発明では、前記慣性航法的位置推定手段は、前記第 1 の推定位置と第 2 の推定位置との差を 0 に近づけるように前記第 20 2 の推定位置を補正することが好ましい (第 13 発明)。これにより、第 2 推定位置の補正を、該第 2 推定位置の精度が高まる (誤差を小さくする) ように適切に行うことができる。

さらに、第 10 ～第 13 発明では、前記ロボットの目標歩容が、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であるときには、前記慣性航法的位置推定手段は、前記空中期では、前記第 2 の推定位置の補正量を略 0 にすることが好ましい (第 14 発明)。すなわち、空中期

25

では、ロボットが非接地となるので、ロボットの所定の部位又は全体重心の鉛直位置の幾何学的推定位置たる前記第1の推定位置の精度が低下しやすい。そこで、第14発明では、空中期では、第2の推定位置の補正量を0にする。これにより、空中期で第2の推定位置が、信頼性の低い第1の推定位置を用いて不適切に補正されてしまうのを防止して、該第2の推定位置の長期的な精度を安定して確保することができる。

次に、本発明の自己位置推定装置の第15発明は、決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットに搭載された、並進加速度を検出する加速度センサと、前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の目標姿勢との差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段と、前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の位置の推定値たる第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段と、少なくとも前記加速度センサの検出値と前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値とを基に、慣性航法によって該所定の部位又は前記ロボットの全体重心の位置の推定値としての第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に第2の推定位置を補正する慣性航法的位置推定手段とを備えることを特徴とするものである。

この第15発明では、前記第1発明で説明した手法を用いて、ロボットの所定の部位又は全体重心の位置の推定値たる第1の推定位置が決定される。なお、このとき、より具体的には、ロボットの着地動作により着地した脚体の接地位置を前記第8発明で説明した如く求めた上で、その接地位置を基準として、目標歩容の目標運動、ロボットの関節の変位

検出値、及び該関節の変位目標値のうちの少なくともいずれかを基に前記第1の推定位置を決定することが好適である。そして、第15発明では、少なくとも前記加速度センサの検出値と前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値とを基に、慣性航法によって該所定の部位又は全体重心の位置の推定値としての第2の推定位置が算出され、この第2の推定位置が、第1の推定位置との差を基に補正される。つまり、慣性航法を基礎とする第2の推定位置が、ロボットの回転すべり等によるロボットの位置変動を考慮して幾何学的に決定される第1の推定位置を用いて補正される。これにより、前記第2の推定位置に含まれやすいドリフト（積分誤差の蓄積）を防止しつつ、第2の推定位置の精度を高めることができる。すなわち、前記所定の部位又は全体重心の位置の推定精度を高めることができる。

かかる第15発明では、より具体的には、前記幾何学的位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第1の座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第2の座標系を求める手段を備え、前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第1座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の位置と前記第2座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置とが同一になるようにグローバル座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置を決定することが好ましい（第16発明）。これにより、第1の推定位置を決定することに関して、前記第2発明と同様の作用効果を奏することができる。

また、第15又は第16発明では、前記第3発明と同様に、前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることが好ましい（第17発明）。

さらに、第15～第17発明では、前記第4発明と同様に、前記姿勢

回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことが好ましい（第18発明）。

また、第15～第18発明では、前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段を備え、前記幾何学的位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定された変形量を用いて前記第1の推定位置を決定することが好ましい（第19発明）。これによれば、前記第9発明と同様に床反力によるロボットの変形量を考慮して第1の推定位置を決定するので、該第1の推定位置の精度を高めることができる。その結果、前記第2の推定位置のより適切な補正が可能となり、該第2の推定位置の精度も高めることができる。

また、第15～第19発明では、前記ロボットの目標歩容が、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であるときには、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標ZMPのいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定することが好ましい（第20発明）。これによれば、前記第5発明と同様、前記回転中心を実状に合った適切なものとして、前記第1の推定位置の精度を適切に確保することができる。

さらに、第15～第20発明では、前記慣性航法的位置推定手段は、前記第1の推定位置と第2の推定位置との差を0に近づけるように前記第2の推定位置を補正することが好ましい（第21発明）。これにより、前記第13発明と同様、第2推定位置の補正を、該第2推定位置の精度が高まる（誤差を小さくする）ように適切に行うことができる。

また、第15～第21発明では、前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であり、前記慣性航法的位置推定手段は、前記空中期では、前記第2の推定位置の補正量を略

0 にすることが好ましい（第 2 2 発明）。

これによれば、前記第 1 4 発明と同様、空中期では、第 2 の推定位置の補正量を 0 にするので、空中期で第 2 の推定位置が、信頼性の低い第 1 の推定位置を用いて不適切に補正されてしまうのを防止して、該第 2
5 の推定位置の長期的な精度を安定して確保することができる。

次に本発明の自己位置推定装置の第 2 3 発明は、決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段と、前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の姿勢との差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段、前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の推定位置としての第 1 の推定位置を決定
10 する幾何学的位置推定手段、少なくとも前記床反力検出手段の検出値と前記実姿勢の検出値又は推定値とを基に、動力学演算によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の推定位置としての第 2 の推定位置を算出すると共に、少なくとも第 1 の推定位置と第 2 の推定位置との差を基に第 2 の推定位置を補正する動力学的位置推定手段とを備えること
15 を特徴とするものである。

この第 2 3 発明では、前記第 1 の推定位置は、前記第 1 5 発明と全く同様に決定される。一方、第 2 の推定位置は、少なくとも前記床反力検出手段の検出値と前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値とを基に、動力学演算によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の推定
20 位置としての第 2 の推定位置が算出され、この第 2 の推定位置が第 1 の推定位置との差を基に補正される。ここで、床反力をロボットの全体質

量で割った値から、重力加速度を減算したものの符号を反転させたものが、前記第15発明でいうところの加速度検出値に相当するものとなるので、結果的には、第15発明と同様に第2の推定位置が決定・補正されることとなる。従って、第23発明によれば、第15発明と同様に、

- 5 前記第2の推定位置に含まれやすいドリフト（積分誤差の蓄積）を防止しつつ、第2の推定位置の精度を高めることができる。すなわち、前記所定の部位又は全体重心の位置の推定精度を高めることができる。

- かかる第23発明では、より具体的には、前記幾何学的位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第1の座標系を前記姿勢回転
10 偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第2の座標系を求める手段を備え、前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第1座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の位置と前記第2座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置とが
15 同一になるようにグローバル座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置を決定することが好ましい（第24発明）。これにより、第1の推定位置を決定することに関して、前記第2発明と同様の作用効果を奏することができる。

- また、第23又は第24発明では、前記第3発明と同様に、前記所定
20 の部位は、前記ロボットの上体であることが好ましい（第25発明）。

さらに、第23～第25発明では、前記第4発明と同様に、前記姿勢回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことが好ましい（第26発明）。

- また、第23～第26発明では、前記幾何学的位置推定手段は、前記
25 検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定された変形量を用いて前記第1の推定位置を決定することが好ましい（第2

7 発明)。これによれば、前記第 9 発明と同様に床反力によるロボットの変形量を考慮して第 1 の推定位置を決定するので、該第 1 の推定位置の精度を高めることができる。その結果、前記第 2 の推定位置のより適切な補正が可能となり、該第 2 の推定位置の精度も高めることができる。

5 また、第 23～第 27 発明では、前記ロボットの目標歩容が、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であるときには、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標 ZMP のいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定すること
10 が好ましい（第 28 発明）。これによれば、前記第 5 発明と同様、前記回転中心を実状に合った適切なものとして、前記第 1 の推定位置の精度を適切に確保することができる。

 さらに、第 23～第 28 発明では、前記動力学的位置推定手段は、前記第 1 の推定位置と第 2 の推定位置との差を 0 に近づけるように前記第
15 2 の推定位置を補正することが好ましい（第 29 発明）。これにより、前記第 13 発明と同様、第 2 推定位置の補正を、該第 2 推定位置の精度が高まる（誤差を小さくする）ように適切に行うことができる。

 また、第 23～第 29 発明では、前記ロボットの目標歩容が、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であるときには、前記
20 動力学的位置推定手段は、前記空中期では、前記第 2 の推定位置の補正量を略 0 にすることが好ましい（第 30 発明）。

 これによれば、前記第 14 発明と同様、空中期では、第 2 の推定位置の補正量を 0 にするので、空中期で第 2 の推定位置が、信頼性の低い第 1 の推定位置を用いて不適切に補正されてしまうのを防止して、該第 2
25 の推定位置の長期的な精度を安定して確保することができる。

 さらに、前述した第 1～第 9 発明では、少なくとも、あらかじめ記憶

しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物に対するロボットの相対位置関係情報を基に、前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と、前記ロボットの推定位置とのうちの少なくとも
5 ともいずれかを補正することが好ましい（第31発明）。

同様に、前記第10～第14発明では、少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物とロボットとの相対位置関係情報を基に、前記第1の推定位置と第
10 2の推定位置とのうちの少なくともいずれかを補正する手段を備えることが好ましい（第32発明）。

同様に、前記第15～第29発明では、少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物とロボットとの相対位置関係情報を基に、前記第1の推定位置と第
15 2の推定位置と前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値とのうちの少なくともいずれかを補正する手段を備えることが好ましい（第33発明）。

これらの第31～第33発明によれば、地図上で、位置情報が明確に
20 確定しているランドマーク等の対象物を環境認識手段によって認識し、その対象物とロボットとの相対位置関係情報を基に、前記推定位置（第10～第30発明では第1もしくは第2の推定位置）、あるいは該推定位置を決定するために必要な前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値（第1～第9発明、又は第15～第30発明の場合）が、対象物を認
25 識したときに補正されるので、推定位置（第10～第30発明では第2の推定位置）の精度を高めることができる。

また、前記第1～第9発明では、少なくとも、前記位置推定手段により推定された前記ロボットの位置と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の位置を推定する手段を備えることが好ましい（第34発明）。
5

同様に、前記第10～第30発明では、少なくとも、前記第2の推定位置と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の位置を推定する手段を備えることが好ましい（第35発明）。

10 これらの第34、第35発明によれば、前述の如く決定したロボットの自己位置たる推定位置（第10～第30発明では、第2の推定位置）を用いることで、対象物の位置を精度よく推定することができる。

また、第1～第9発明では、少なくとも前記ロボットの推定位置と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置とを基に、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する手段を備えることが好ましい（第36発明）。
15

同様に、第10～第30発明では、少なくとも前記第2の推定位置と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置とを基に、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する手段を備えることが好ましい（第37発明）。
20

これらの第36、第37発明によれば、前述の如く決定したロボットの自己位置たる推定位置（第10～第30発明では、第2の推定位置）を用いるので、対象物とロボットとの位置関係を精度よく認識することができる。その結果、環境認識手段の注視方向を注視すべき方向（例えば環境認識手段を構成する撮像装置の画像の中央等の所定位置に対象物が存在するような方向）に精度よく制御することができる。
25

図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施形態における脚式移動ロボットとしての2足移動ロボットの全体的構成の概略を示す概略図、図2は図1の各脚体の足平部分の構成を概略的に示す概略図、図3及び図4はそれぞれ各脚体の足平部分の詳細構成を示す側面視の断面図及び底面図、図5は図1のロボットに備えた制御ユニットの構成を示すブロック図、図6は図5の制御ユニットの機能的構成を示すブロック図である。図7はロボットの走行歩容を示す説明図、図8(a), (b), (c)はそれぞれ目標歩容の床反力鉛直成分、目標ZMP、自己位置姿勢推定用のゲインの設定例を示すグラフ、図9は第1実施形態における制御ユニットの要部の処理を示すフローチャート、図10は図9のフローチャートの自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図11は図9のフローチャートの自己位置姿勢推定処理を説明するための図である。図12は第2実施形態の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図13は第2実施形態の自己位置姿勢推定処理を説明するための図である。図14は第3実施形態の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図15は第3実施形態の自己位置姿勢推定処理を説明するための図である。図16は第4実施形態の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図17は第4実施形態の自己位置姿勢推定処理の要部の処理を示すブロック図、図18(a), (b)は第4実施形態の自己位置姿勢推定処理を説明するための図、図19は第4実施形態で用いるゲインの設定例を示すグラフである。図20は第5実施形態の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図21は第5実施形態の自己位置姿勢推定処理の要部の処理を示すブロック図である。図22は第6実施形態の自己位置姿勢推定処理の要部の処理を示すブロック図である。図23及び図24は第7実施形態における

ロボットの頭部の内部構造をそれぞれ正面視、側面視で示す図、図25は第7実施形態の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

- 5 以下、添付図面を参照してこの発明の実施形態に係る脚式移動ロボットの自己位置推定装置を説明する。尚、脚式移動ロボットとしては2足移動ロボットを例にとる。

図1は、この実施形態に係る脚式移動ロボットとしての2足移動ロボットを全体的に示す概略図である。

- 10 図示の如く、2足移動ロボット（以下、ロボットという）1は上体（ロボット1の基体）3から下方に延設された左右一対の脚体（脚部リンク）2，2を備える。両脚体2，2は同一構造であり、それぞれ6個の関節を備える。その6個の関節は上体3側から順に、股（腰部）の回旋（回転）用（上体3に対するヨー方向の回転用）の関節10R，10L
15 L（符号R，Lはそれぞれ右側脚体、左側脚体に対応するものであることを意味する符号である。以下同じ）と、股（腰部）のロール方向（X軸まわり）の回転用の関節12R，12Lと、股（腰部）のピッチ方向（Y軸まわり）の回転用の関節14R，14L、膝部のピッチ方向の回転用の関節16R，16Lと、足首のピッチ方向の回転用の関節18R，
20 18Lと、足首のロール方向の回転用の関節20R，20Lとから構成される。

- 各脚体2の足首の2つの関節18R（L），20R（L）の下部には、各脚体2の先端部を構成する足平（足部）22R（L）が取着されると共に、両脚体2，2の最上位には、各脚体2の股の3つの関節10R
25 （L），12R（L），14R（L）を介して前記上体3が取り付けられている。上体3の内部には、詳細を後述する制御ユニット60などが格

納される。なお、図1では図示の便宜上、制御ユニット60を上体3の外部に記載している。

上記構成の各脚体2においては、股関節（あるいは腰関節）は関節10R（L），12R（L），14R（L）から構成され、膝関節は関節16R（L）から構成され、足首関節は関節18R（L），20R（L）から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク24R（L）で連結され、膝関節と足首関節とは下腿リンク26R（L）で連結される。

尚、上体3の上部の両側部には左右一対の腕体5，5が取り付けられると共に、上体3の上端部には頭部4が配置される。これらの腕体5，5及び頭部4は、本発明の要旨と直接的な関連を有しないため詳細な説明を省略する。

上記の構成により、各脚体2の足平22R（L）は、上体3に対して6つの自由度を与えられている。そして、ロボット1の歩行等の移動中に、両脚体2，2を合わせて $6 * 2 = 12$ 個（この明細書で「*」はスカラに対する演算としては乗算を、ベクトルに対する演算としては外積を示す）の関節を適宜な角度で駆動することで、両足平22R，22Lの所望の運動を行うことができる。これにより、ロボット1は任意に3次元空間を移動することができる。

図1に示す如く、各脚体2の足首関節18R（L），20R（L）の下方には足平22R（L）との間に公知の6軸力センサ50が介装されている。該6軸力センサ50は、各脚体2の足平22R（L）の着地の有無、および各脚体2に作用する床反力（接地荷重）等を検出するためのものであり、該床反力の並進力の3方向成分 F_x ， F_y ， F_z 並びにモーメントの3方向成分 M_x ， M_y ， M_z の検出信号を制御ユニット60に出力する。また、上体3には、Z軸（鉛直方向（重力方向））に対する上体3の傾き（姿勢角）およびその角速度等を検出するための傾斜

センサ 54 が備えられ、その検出信号が該傾斜センサ 54 から制御ユニット 60 に出力される。この傾斜センサ 54 は、図示を省略する 3 軸方向の加速度センサおよび 3 軸方向のジャイロセンサを備え、これらのセンサの検出信号が上体 3 の傾きおよびその角速度を検出するために用い
5 られると共に、ロボット 1 の自己位置姿勢を推定するために用いられる。また、詳細構造の図示は省略するが、ロボット 1 の各関節には、それを駆動するための電動モータ 64（図 5 参照）と、その電動モータ 64 の回転量（各関節の回転角）を検出するためのエンコーダ（ロータリエン
10 コーダ）65（図 5 参照）とが設けられ、該エンコーダ 65 の検出信号が該エンコーダ 65 から制御ユニット 60 に出力される。

さらに、図 1 では図示を省略するが、ロボット 1 の適宜な位置にはジョイスティック（操作器）73（図 5 参照）が設けられ、そのジョイスティック 73 を操作することで、直進移動しているロボット 1 を旋回させるなど、ロボット 1 の歩容に対する要求を必要に応じて制御ユニット
15 60 に入力できるように構成されている。

図 2 は本実施形態における各脚体 2 の先端部分（各足平 22R（L）を含む）の基本構成を概略的に示す図である。同図に示すように、各足平 22R（L）の上方には、前記 6 軸力センサ 50 との間にはばね機構 70 が装備されると共に、足底（各足平 22R，L の底面）にはゴムなど
20 からなる足底弾性体 71 が貼られている。これらのばね機構 70 及び足底弾性体 71 によりコンプライアンス機構 72 が構成されている。ばね機構 70 は詳細は後述するが、足平 22R（L）の上面部に取り付けられた方形状のガイド部材（図 2 では図示省略）と、足首関節 18R（L）（図 2 では足首関節 20R（L）を省略している）および 6 軸力
25 センサ 50 側に取り付けられ、前記ガイド部材に弾性材（ゴムやばね）を介して微動自在に収納されるピストン状部材（図 2 では図示省略）と

から構成されている。

図2に実線で表示された足平22R(L)は、床反力を受けていない
ときの状態を示している。各脚体2が床反力を受けると、コンプライア
ンス機構72のばね機構70と足底弾性体71とがたわみ、足平22R
5 (L)は図中に点線で例示したような位置姿勢に移る。このコンプライ
アンス機構72の構造は、例えば本出願人が先に提案した特開平5-3
05584号公報に詳細に説明されている如く、着地衝撃を緩和するた
めだけでなく、制御性を高めるためにも重要なものである。

上記コンプライアンス機構72を含めた足平22R(L)(以下、足
10 平機構22R(L)と称することがある。)のより詳細な構成を図3及
び図4を参照してさらに説明する。図3は足平機構22R(L)の側面
示の断面図、図4は該足平機構22R(L)の底面側から見た平面図で
ある。

足平機構22R(L)は、大略平板状の足平プレート部材102を骨
15 格部材として備えている。この足平プレート部材102は、その前端部
(つま先部)と後端部(踵部)とが若干上方に湾曲されているが、他の
部分は平坦な平板状になっている。また、足平プレート部材102の上
面部には、横断面方形状のガイド部材103がその軸心を上下方向に向
けて固設されている。このガイド部材103の内部には、該ガイド部材
20 103の内周面に沿うようにして略上下方向に移動可能に設けられた可
動板(ピストン状部材)104が設けられ、該可動板104が足首関節
18R(L), 20R(L)に6軸力センサ50を介して連結されている。
る。

また、可動板104は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材か
25 らなる複数の弾性部材106(図ではばねとして記載している)を介し
て足平プレート部材102の上面部に連結されている。従って、足平プ

レート部材102は、弾性部材106、可動板104及び6軸力センサ50を介して足首関節18R(L)に連結されている。尚、ガイド部材103の内部(可動板104の下側の空間)は、図示を省略する穴や隙間を介して大気側に開放されており、大気中の空気がガイド部材103の内部に入出自在となっている。また、上記ガイド部材103、可動板104、及び弾性部材106は前記図2に示したばね機構70を構成するものである。

足平プレート部材102の底面(下面)には、前記図2に示した足底弾性体71としての接地部材71が取着されている。該接地部材71は、足平機構22R(L)の接地状態で、該足平プレート部材102と床面との間に介在させる弾性部材(床面に直接的に接触する弾性部材)であり、本実施形態では、足平プレート部材102の接地面の四隅(足平プレート部材102のつま先部の両側部並びに踵部の両側部)に固着されている。

また、接地部材71は、本実施形態では、比較的軟質のゴム材から成る軟質層107aと、比較的硬質のゴム材から成る硬質層107bとを上下に重合してなる2層構造に形成され、硬質層107bが、脚体2の着床時に直接的に床面に接触する接地面部として最下面側に設けられている。

足平機構22R(L)には、上記の構成の他、着地衝撃緩衝装置108が備えられている。この着地衝撃緩衝装置108は、足平プレート部材102の底面に取着された袋状部材109と、該袋状部材109の内部に対して圧縮性流体としての空気(大気中の空気)を入出させるための流通路110とを備えている。

袋状部材109は、その周囲に前記接地部材71が存するようにして、足平プレート部材102の底面の大略中央部に設けられている。この袋

状部材 109 は、ゴム等の弾性材により変形自在に構成されており、外力による弾性変形が生じていない自然状態では、図 3 に実線で示すように、上方に開口した円筒容器形状を呈する。そして、該袋状部材 109 は、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材 102 の底面に固着され、該足平プレート部材 102 により閉蓋されている。また、袋状部材 109 は、円筒容器形状を呈する自然状態では、該袋状部材 109 の底部が前記接地部材 71 よりも下方に突出するように設けられている。つまり、該袋状部材 109 の高さ（足平プレート部材 102 の下面から袋状部材 109 の底部までの距離）は、接地部材 71 の厚さよりも大きいものとされている。従って、足平プレート部材 102 が接地部材 71 を介して接地した状態（脚部 2 の着床状態）では、袋状部材 109 は、図 3 に仮想線で示すように、床反力により袋状部材 109 の高さ方向に圧縮される。

尚、本実施形態では、袋状部材 109 が円筒容器形状を呈する自然状態は該袋状部材 109 の膨張状態である。そして、袋状部材 109 は、弾性材により構成されているため、圧縮されたとき、自然状態の形状（円筒容器形状）への形状復元力を有する。

前記流通路 110 は、袋状部材 109 に対する空気の流入・流出を行う流入・流出手段を構成するものであり、本実施形態では、袋状部材 109 の内部と前記ガイド部材 103 の内部とを連通させるように足平プレート部材 102 に穿設された流通孔である。この場合、前述のように、ガイド部材 103 の内部は大気側に開放されているので、該流通路 110 は、袋状部材 109 の内部を大気側に連通させていることとなる。従って、袋状部材 109 の内部には、大気中の空気が流通路 110 を介して入出自在となっており、該袋状部材 109 の膨張状態（自然状態）では、該袋状部材 109 内には空気が充填され、その内部の圧力は大気圧

と同等になる。また、流通路110は絞り通路となっており、袋状部材109の内部に空気が入出する際には流体抵抗を生じるようになっている。

図5は制御ユニット60の構成を示すブロック図である。該制御ユニット60はマイクロコンピュータにより構成されており、CPUからなる第1の演算装置90及び第2の演算装置92、A/D変換器80、カウンタ86、D/A変換器96、RAM84、ROM94、並びにこれらの間のデータ授受を行うバスライン82を備えている。この制御ユニット60では、各脚体2の6軸力センサ50、傾斜センサ54（加速度センサおよびレートジャイロセンサ）、ジョイスティック73等の出力信号はA/D変換器80でデジタル値に変換された後、バスライン82を介してRAM84に送られる。またロボット1の各関節のエンコーダ65（ロータリーエンコーダ）の出力は、カウンタ86を介してRAM84に入力される。

前記第1の演算装置90は後述の如く目標歩容を生成すると共に、関節角変位指令（各関節の変位角もしくは各電動モータ64の回転角の指令値）を算出し、RAM84に送出する。また第2の演算装置92はRAM84から関節角変位指令と、前記エンコーダ65の出力信号とに基づいて検出された関節角の実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な操作量を算出してD/A変換器96とサーボアンプ64aとを介して各関節を駆動する電動モータ64に出力する。

図6は、この実施形態に係る脚式移動ロボットの制御装置の機能的構成を全体的に示すブロック図である。この図6中の「実ロボット」の部分以外の部分が制御ユニット60が実行する処理機能（主として第1の演算装置90及び第2の演算装置92の機能）によって構成されるものである。なお、以下の説明では、脚体2の左右を特に区別する必要がな

いときは、前記符号 R, L を省略する。

以下説明すると、制御ユニット 60 は、ロボット 1 の目標歩容を自在かつリアルタイムに生成して出力する歩容生成装置 200、自己位置姿勢推定部 214 等を備えている。自己位置姿勢推定部 214 は、詳細は
5 後述するが、本発明の特徴部分に係わる処理を実行し、ロボット 1 の位置・姿勢（グローバル座標系での位置・姿勢）を推定するものである。

歩容生成装置 200 が出力する目標歩容は、目標上体位置姿勢軌道（上体 3 の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標足平位置姿勢軌道（各足平 22 の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標腕姿勢軌道（各腕体 5
10 の目標姿勢の軌道）、目標全床反力中心点（目標 ZMP）軌道、目標全床反力軌道から構成される。なお、脚体 2 や腕体 5 以外に上体 3 に対して可動な部位を備える場合には、その可動部位の目標位置姿勢軌道が目標歩容に加えられる。

ここで、本発明の実施形態での用語の意味あるいは定義について補足
15 しておく。上記歩容における「軌道」は時間的変化のパターン（時系列パターン）を意味し、以下の説明では、「軌道」の代わりに「パターン」と称することもある。また、各部位の「姿勢」は、該部位の傾きと向きとを総称したものである。ここで、「傾き」は該部位の鉛直方向となす角度であり、「向き」は該部位の前方向を示すベクトルを水平面に
20 投影したベクトルの向きである。例えば上体姿勢のうちの傾きは、Z 軸（鉛直軸）に対するロール方向（X 軸回り）の上体 3 の傾斜角（姿勢角）と、Z 軸に対するピッチ方向（Y 軸回り）の上体 3 の傾斜角（姿勢角）とからなる。また、上体 3 の向きは、上体 3 の前方向を示すベクトルを水平面に投影したベクトルのヨー方向（Z 軸回り）の回転角で表さ
25 れる。なお、足平姿勢は各足平 22 に固定的に設定された 2 軸の空間的な方位角で表される。また、特に、足平 22 の着地姿勢に関しては、そ

の着地姿勢は、基本的には着地した足平 2 2 の向きを表し、具体的には着地した足平 2 2 のかかとからつま先に向かうベクトルを水平面に投影したベクトルの向きを表す。また、目標腕姿勢は、腕体 5 のすべての部位に関する上体 3 に対する相対的な姿勢で表される。

- 5 上体位置は、上体 3 の所定位置、具体的には上体 3 のあらかじめ定めた代表点の位置を意味する。同様に、足平位置は、各足平 2 2 R, 2 2 L のあらかじめ定めた代表点の位置を意味する。なお、上体速度は、上体 3 の上記代表点の移動速度を意味し、足平速度は、各足平 2 2 R, 2 2 L の上記代表点の移動速度を意味する。
- 10 目標上体位置姿勢等の目標歩容に関し、以下の説明では、誤解を生じることがない場合には、しばしば「目標」を省略する。また、歩容のうちの、床反力に係わる構成要素以外の構成要素、すなわち足平位置姿勢、上体位置姿勢等、ロボット 1 の運動に係わる歩容を総称的に「運動」という。
- 15 各足平 2 2 R, L の床反力（並進力及びモーメントからなる床反力）を「各足平床反力」と呼び、ロボット 1 の全ての（2本の）足平 2 2 R, 2 2 L の床反力の合力を「全床反力」と呼ぶ。ただし、以下の説明においては、各足平床反力に関してはほとんど言及しないので、断らない限り、「床反力」は「全床反力」と同義として扱う。
- 20 目標床反力は、一般的には、作用点とその点に作用する力（並進力）と力のモーメントによって表現される。作用点はどこにとっても良いので、同一の目標床反力でも無数の表現が考えられるが、特に前述の目標床反力中心点を作用点にして目標床反力を表現すると、力のモーメントは、鉛直軸成分を除けば、0 になる。
- 25 尚、動力学的平衡条件を満足する歩容では、目標運動軌道から算出される Z M P（目標運動軌道から算出されるロボット 1 の慣性力と重力と

の合力がその点まわりに作用するモーメントが、鉛直軸成分を除いて0になる点)と目標全床反力中心点は一致することから、目標全床反力中心点軌道の代わりに目標ZMP軌道を与えても同じことである(詳細は、例えば本出願人によるPCT公開公報WO/02/40224を参照)。

このような背景から、PCT公開公報WO/02/40224の明細書では目標歩容を次のように定義していた。

a) 広義の目標歩容とは、1歩ないしは複数歩の期間の目標運動軌道とその目標床反力軌道との組である。

10 b) 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道とそのZMP軌道との組である。

c) 一連の歩容は、いくつかの歩容がつながったものとする。

ロボット1の歩行を行う場合においては、本出願人が先に特開平10-86080号公報で提案した上体高さ決定手法によって上体鉛直位置(上体高さ)が決定されると、床反力の並進力成分は従属的に決定されるので、目標歩容の床反力に関して明示的に設定すべき物理量としては、ZMPだけで十分であった。したがって、PCT公開公報WO/02/40224の明細書では、狭義の目標歩容としては、上記のb)で十分であった。それに対し、ロボット1の走行を行う場合には、床反力鉛直成分も制御上重要であるので、該床反力鉛直成分を明示的に設定することが好ましい。そこで、本願出願人が先に提案したPCT出願(PCT/JP02/13596)等では、狭義の目標歩容として、次のb')を採用した。

b') 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道とそのZMP軌道と床反力鉛直成分軌道の組である。

25 この明細書では以降、特にことわらない限り、目標歩容は狭義の目標歩容の意味で使用する。また、目標歩容の「1歩」は、ロボット1の片

方の脚体 2 が着地してからもう一方の脚体 2 が着地するまでの意味で使用する。

歩容における両脚支持期とは言うまでもなく、ロボット 1 がその自重を両脚体 2, 2 で支持する期間、片脚支持期とはいずれか一方のみの脚
5 体 2 でロボット 1 の自重を支持する期間、空中期とは両脚体 2, 2 が床から離れている（空中に浮いている）期間を言う。

片脚支持期においてロボット 1 の自重を支持しない側の脚体 2 を「遊脚」と呼び、自重を支持する側の脚体 2 を「支持脚」と呼ぶ。ロボット 1 の歩行では、両脚支持期と片脚支持期とが交互に繰り返され、ロボッ
10 ト 1 の走行では片脚支持期と空中期とが交互に繰り返される。この場合、走行の空中期では、両脚体 2, 2 とも、ロボット 1 の自重を支持しないこととなるが、該空中期の直前の片脚支持期において遊脚であった脚体 2、支持脚であった脚体 2 をそれぞれ該空中期においても遊脚、支持脚と呼ぶ。

15 また、目標上体姿勢、目標上体位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢等、目標歩容におけるロボット 1 の各部の位置姿勢は支持脚座標系で記述される。支持脚座標系とは、支持脚の足平 2 2 の接地面辺りに原点を持つ床面に固定された座標系である。より詳細には、支持脚座標系は、本出願人の特許 3273443 号に記載されているように、支持脚の足平 2
20 2 を接地面との間で滑らさないで、水平姿勢になるまで回転させた時の、該支持脚の足首関節の中心から接地面への垂直投影点を原点とし、該支持脚足平 2 2 のつま先に向かう水平軸（足平 2 2 の前後方向の軸）を X 軸として、鉛直軸を Z 軸、これらの X 軸、Z 軸に直交する座標軸（足平 2 2 の左右方向の軸）を Y 軸とする座標系である。

25 本発明の実施形態に係る歩容生成装置 200 は、2 歩先までの遊脚の足平 2 2 の着地位置姿勢、着地時刻の要求値（目標値）を入力として、

目標上体位置姿勢軌道、目標足平位置姿勢軌道、目標ZMP軌道、目標床反力鉛直成分軌道、及び目標腕姿勢軌道から構成される目標歩容を生成する。このとき、これらの軌道を規定するパラメータ（これを歩容パラメータと呼ぶ）の一部は、歩容の継続性を満足するように修正される。

5 目標歩容の生成にはロボット1の動力学モデルが用いられる。その動力学モデルとしては、例えば、前記PCT公開公報WO/02/40224号に記載の単純化モデルあるいは、本出願人が提案した特開2002-326173号公報に記載の多質点モデル（フルモデル）などを用いれば良い。

10 また、歩容生成装置200は、ロボット1の片方の脚体2が着地してから他方の脚体2が着地するまでの1歩分の目標歩容（前記狭義の意味での目標歩容）を単位として、その1歩分の目標歩容を順番に生成する。ここで、現在あるいはこれから生成しようとしている歩容を「今回歩容」、その次の歩容を「次回歩容」、さらにその次の歩容を「次次回歩容」
15 と呼ぶ。また、「今回歩容」の1つ前に生成した目標歩容を「前回歩容」と呼ぶ。

歩容生成装置200が生成する目標歩容の一部を例示的に概説すると、例えば目標足平位置姿勢軌道は、本出願人による特許3233450号に開示した有限時間整定フィルタを用いて生成される。この有限時間整定フ
20 イルタによる足平位置姿勢軌道の生成処理では、例えば足平位置軌道は、目標着地位置（着地位置の要求値）に向かって足平22を徐々に加速しながら移動を開始し、目標着地時刻（着地時刻の要求値）までに徐々に速度を0またはほぼ0にまで減速し、該目標着地時刻に目標着地位置に到達して停止するように生成される。足平姿勢軌道についても同様であ
25 る。これにより生成される目標足平位置姿勢軌道は、着地瞬間における対地速度が0またはほぼ0になるため、特にロボット1の走行を行う場

合に、前記空中期からの着地時における着地衝撃を小さくできる。

また、図7に示すように人間が走行を行う場合と同様の形態でロボット1の走行を行う場合には、例えば目標床反力鉛直成分軌道および目標ZMP軌道（詳しくは支持脚座標系のX軸方向（支持脚足平22の前後方向）での目標ZMP軌道）は、それぞれ図8（a）、図8（b）に実線で示すようなパターンで設定される。なお、図7の第1番目～第3番目の図は、それぞれ片脚支持期の開始時、中間時点、終了時におけるロボット1の両脚体2, 2の運動状態を模式的に示し、第4番目及び第5番目の図は、それぞれ空中期の中間時点、空中期の終了時（次の片脚支持期の開始時）におけるロボット1の両脚体2, 2の運動状態を模式的に示している。

ロボット1の走行を行う場合には、目標床反力鉛直成分軌道は、基本的には、片脚支持期では上に凸のパターンとなり、空中期では0に維持される。また、ロボット1の歩行を行う場合には、目標床反力鉛直成分軌道は、例えば図8（a）に二点鎖線で示すように設定される。この場合、二点鎖線のうちの上に凸の部分が両脚支持期に対応し、下に凸の部分が片脚支持期に対応する。また、目標ZMPは走行、歩行のいずれであっても、基本的には、ロボット1の脚体2の接地面内（より詳しくは所謂、支持多角形内）の中央付近に設定される。

図9は、前記歩容生成装置200の歩容生成処理、ならびに、図6に示す自己位置姿勢推定部214の自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート（構造化フローチャート）である。

まずS010において時刻tを0に初期化するなど種々の初期化作業を行う。

次いでS012を経てS014に進み、制御周期毎のタイマ割り込みを待つ。制御周期は Δt である。

次いでS 0 1 6に進み、自己位置姿勢推定部2 1 4による自己位置姿勢推定を行う。S 0 1 6における処理がこの出願に係る脚式移動ロボットの自己位置推定装置の特徴をなすが、この説明は後述することとする。

- 5 次いでS 0 1 8に進み、歩容切り替わり目（前回歩容の生成が終了し、新たな今回歩容の生成を開始すべき時刻）であるか否かが判断される。そして、その判断結果がYESであるときはS 0 2 0に進み、NOであるときはS 0 3 2に進む。なお、以下に説明するS 0 2 0以降の処理は、本願出願人が先に提案したP C T公開公報 WO/02/40224 あるいは前記P C T出願 PCT/JP02/13596 に詳細に説明されているので、本明
10 細書では簡略的な説明に留める。

S 0 2 0に進むときは時刻 t を0に初期化する。次いでS 0 2 2に進み、次回歩容支持脚座標系（詳しくはその位置および向き）、次次回歩容支持脚座標系（詳しくはその位置および向き）、今回歩容周期および次回歩容周期を読み込む。

- 15 上記次回歩容支持脚座標系および次次回歩容支持脚座標系は、それぞれ、前記ジョイスティック7 3の操作等によって指定される1歩目の遊脚足平2 2（今回歩容の遊脚足平2 2）の着地位置姿勢の要求値（目標着地位置姿勢）、2歩目の遊脚足平2 2（次回歩容の遊脚足平2 2）の着地位置姿勢の要求値（目標着地位置姿勢）に応じて、前記した支持脚
20 座標系の定義に従って決定される。

また、今回歩容周期、次回歩容周期は、それぞれ、1歩目の遊脚足平2 2の着地時刻の要求値（目標着地時刻）、2歩目の遊脚足平2 2の着地時刻の要求値（目標着地時刻）に応じて決定される。

- 上記した遊脚足平2 2の着地位置姿勢の要求値並びに着地時刻の要求
25 値、あるいは支持脚座標系の位置および向き並びに歩容周期は、あらかじめ歩行スケジュールとして記憶しておいても良く、あるいはジョイス

ティック 73 などの操縦装置からの指令（要求）とそのときまでの歩行履歴を基に決定しても良い。

次いで S 0 2 4 に進み、今回歩容につながる定常旋回歩容の歩容パラメータが、S 0 2 2 で決定された次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期等に基づいて決定される。主に、目標足平位置姿勢軌道を規定する足平軌道パラメータ、目標上体姿勢の基準軌道を規定する基準上体姿勢軌道パラメータ、目標腕姿勢軌道を規定する腕姿勢軌道パラメータ、目標 Z M P 軌道を規定する Z M P 軌道パラメータ、目標床反力鉛直成分軌道を規定する床反力鉛直成分軌道パラメータが決定される。例えば床反力鉛直成分軌道パラメータに関して例示すると、前記図 8（a）に示したパターンの折れ点の時刻や値が床反力鉛直成分軌道パラメータとして決定される。

ここで、前記定常旋回歩容は、その歩容を繰り返したときに歩容の境界においてロボット 1 の運動状態に不連続が生じないような周期的歩容を意味する（以降、「定常旋回歩容」を「定常歩容」と略す場合もある）。

定常旋回歩容の 1 周期分の歩容は、第 1 旋回歩容と第 2 旋回歩容とからなる。第 1 旋回歩容は、今回歩容の支持脚座標系に対応する支持脚足平 2 2 を次次回歩容支持脚座標系に対応する位置姿勢まで動かすときの歩容に相当し、第 2 旋回歩容は、次回歩容支持脚座標系に対応する支持脚足平 2 2 を次次次回支持脚座標系に対応する位置姿勢まで動かすときの歩容に相当する。この場合、次次次回歩容支持脚座標系は、第 2 旋回歩容の遊脚足平 2 2 の目標着地位置姿勢に対応するものである。そして、該次次次回歩容支持脚座標系は、次次回歩容支持脚座標系（第 2 旋回歩容の支持脚座標系）から見た該次次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢（位置及び向き）が、今回歩容支持脚座標系から見た次回歩容支持脚座標系（今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢）の位置姿勢（位置及び

向き)に一致するように設定される。尚、定常旋回歩容に関して「旋回」なる用語を用いたのは、旋回率を零とするときは直進を意味するので、直進も広義の意味で旋回に含ませることができるからである。

定常旋回歩容は、歩容生成装置 200 で今回歩容の終端における発散成分や上体鉛直位置速度を決定するために暫定的に作成される仮想的な周期的歩容であり、ロボット 1 を実際に制御するために歩容生成装置 200 からそのまま出力されるものではない。

尚、「発散」とは、上体の位置が両足部(足平)の位置からかけ離れた位置にずれてしまうことを意味する。発散成分の値とは、2足移動ロボットの1の上体の位置が両足部(足平)の位置(厳密には、支持脚接地面に設定された支持脚座標系の原点からかけ離れていく具合を表す数値であり、上体3の水平方向の位置及びその速度の関数で表される。

本実施形態では、これから生成する今回歩容の後につながる定常歩容を移動要求(前記2歩先までの遊脚の足平22の着地位置姿勢、着地時刻などの要求値)に応じて設定し、定常歩容の初期発散成分を求めてから、今回歩容の終端発散成分を定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容を生成するようにした。S024の詳細は、本出願人が提案した前記PCT公開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596 に説明されているので、これ以上の説明を省略する。

S010からS024までに示す処理を行って後、S026に進み、定常旋回歩容の初期状態(初期上体水平位置速度成分、初期上体鉛直位置速度、初期発散成分、初期上体姿勢角および角速度)を決定する。S026の詳細は、PCT公開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596 に説明している所以、ここでは、これ以上の説明を省略する。

次いで、S028に進み、今回歩容の歩容パラメータを決定(一部仮

決定)する。この場合、決定される今回歩容の歩容パラメータは、定常旋回歩容の歩容パラメータと同様、主に、足平軌道パラメータ、基準上体姿勢軌道パラメータ、腕姿勢軌道パラメータ、目標ZMP軌道パラメータ、目標床反力鉛直成分軌道パラメータであり、それぞれのパラメータにより規定される軌道が、定常旋回歩容の軌道に連続するように決定される。ただし、これらのパラメータのうち、目標ZMP軌道パラメータは暫定的なものである。このS028の処理の詳細は、前記PCT公開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596 号等に説明されているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

10 次いでS030に進み、今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容の歩容パラメータを修正する。ここで修正される歩容パラメータは、目標ZMP軌道パラメータである。

S030において今回歩容パラメータを修正した後、あるいはS018の判断結果がNOである場合には、S032に進み、今回歩容瞬時値を決定する。この処理の詳細は、前記PCT公開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596 号等に説明している所以、ここでは、これ以上の説明を省略する。

20 次いでS034に進み、PCT出願 PCT/JP02/13596 号の実施形態のS032の処理と同様、スピン力をキャンセルするための腕振り動作を決定する。

次いでS036に進み、歩容生成用時刻 t を Δt だけ増やし、S014に戻り、以上のごとく歩容生成を続ける。

以上が、歩容生成装置200における目標歩容生成処理、ならびに、自己位置姿勢推定部214の自己位置姿勢推定処理である。

25 図6を参照してこの実施形態に係る制御ユニット60の制御処理をさらに説明すると、歩容生成装置200において、上記したように目標歩

容が生成される。生成された目標歩容のうち、目標上体位置姿勢（軌道）および目標腕姿勢軌道は、ロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部）202に直接送られる。

また、目標足平位置姿勢（軌道）、目標ZMP軌道（目標全床反力中心点軌道）、および目標全床反力（軌道）（目標床反力水平成分と目標床反力鉛直成分）は、複合コンプライアンス動作決定部204に直接送られる一方、目標床反力分配器206にも送られる。目標床反力分配器206では、目標全床反力は各足平22R、22Lに分配され、目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が決定される。その決定された目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が複合コンプライアンス動作決定部204に送られる。

複合コンプライアンス動作決定部204では、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢軌道が生成され、それがロボット幾何学モデル202に送られる。ロボット幾何学モデル202は、目標上体位置姿勢（軌道）と機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）が入力されると、それらを満足する脚体2、2の12個の関節（10R（L）など）の関節変位指令（値）を算出して変位コントローラ208に送る。変位コントローラ208は、ロボット幾何学モデル202で算出された関節変位指令（値）を目標値としてロボット1の12個の関節の変位を追従制御する。

ロボット1に生じた床反力（詳しくは実各足平床反力）は6軸力センサ50によって検出される。その検出値は前記複合コンプライアンス動作決定部204に送られる。また、前記図9のS016で後述する如く求められた推定上体姿勢と歩容生成装置200が生成した目標上体姿勢との差のうちの傾き成分、すなわち実上体姿勢角偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} が姿勢安定化制御演算部212に送られる。なお、 θ_{errx} はロール方

向（X軸回り）の傾き成分であり、 θ_{erry} はピッチ方向（Y軸回り）の傾き成分である。この姿勢安定化制御演算部 212 で、ロボット 1 の上体姿勢の傾きを目標歩容の上体姿勢の傾きに復元するための目標全床反力中心点（目標 ZMP）まわりの補償全床反力モーメント M_{dmd} が算出され、この補償全床反力モーメント M_{dmd} が複合コンプライアンス動作決定部 204 に与えられる。複合コンプライアンス動作決定部 204 は、入力値に基づいて目標足平位置姿勢を修正する。具体的には、複合コンプライアンス動作決定部 204 では、実全床反力（すべての実足平床反力の合力で、並進力およびモーメントの両者を含む）が、目標各足平床反力の合力である目標全床反力と補償全床反力モーメント M_{dmd} との合力に一致するように、歩容生成装置 200 から与えられた目標足平位置姿勢を修正して、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を決定する。ただしすべての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。すなわち、足平位置姿勢及び床反力の各目標に対する制御偏差に重みを与えて、制御偏差（あるいは制御偏差の 2 乗）の重み付き平均が最小になるように制御する。

補足すると、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）は、複合コンプライアンス動作決定部 204 によって修正された床反力の目標値を発生させるために必要な足平の変形機構（円柱状ゴム、足底スポンジおよび衝撃吸収用の袋状のエアダンパー）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求めて、その変形量が発生するように修正した、目標足平位置姿勢（軌道）である。

以下に、第 1 実施形態における S016 の自己位置姿勢推定処理について、そのフローチャートである図 10 を用いて詳説する。なお、以下に説明する第 1 実施形態の自己位置姿勢推定処理は、ロボット 1 の歩行

を行っている場合の処理である。

まず S 2 0 0 0 において、上体 3 の傾斜センサ 5 4 に備えたジャイロセンサの検出値、すなわち上体 3 の角速度（3 軸方向の角速度）の検出値を積分器により積分して推定上体姿勢を求める。この推定上体姿勢は
5 グローバル座標系で記述される。なお、推定上体姿勢のうちの傾き成分に関しては、ジャイロセンサの検出値の積分誤差の蓄積（ドリフト）を抑制するために、傾斜センサ 5 4 に備えた加速度センサによって検出される重力方向を用いてドリフト補正が行われる。具体的には、加速度センサの検出値から求められる重力方向に対する上体 3 の相対角度と、上
10 記推定上体姿勢のうちの傾きとの差を求め、この差が 0 に収束するように、該差から P I 制御則等のフィードバック制御則により求めた値を、ジャイロセンサ検出値を積分するための積分器に追加的に入力することにより、補正が行われる。この補正手法は公知であるので、これ以上の説明は省略する。

15 次いで S 2 0 0 2 に進み、ロボット 1 の着地が確定したか否かを判定する。この判定においては、以下に列挙したいずれかの方法のように、目標歩容の時期から判定しても良いし、あるいは、6 軸力センサ 5 0（床反力センサ）や加速度センサの検出値を基に判定しても良い。あるいは、それらの検出値や目標歩容の時期から総合的に判断しても良い。

20 a)片脚支持期が開始してから所定時間後の時点か否か。

b)6 軸力センサ 5 0（床反力センサ）の検出値がある所定の値となってから所定時間が経過した時点か否か。

c)加速度センサの検出値がある所定の値となってから所定時間が経過した時点か否か。

25 ただし、S 2 0 0 2 の判定結果が Y E S になった直後に、極力、着地した足平 2 2 が滑ったり、再び床から離れることがないように、着地瞬

間から適度な時間が経過した時点に着地が確定した時点とすることが好ましい。従って、上記 a)~c)の所定時間は、このような条件を満たすように設定することが好ましい。

5 S 2 0 0 2 の判定結果が N O である場合には、以上をもって S 0 1 6 の自己位置推定処理を終了し、前述のごとく図 9 の S 0 1 8 に進む。

S 2 0 0 2 の判定結果が Y E S である場合には、以下の処理を行う。すなわち、まず S 2 0 0 4 に進み、グローバル座標系から見た推定上体姿勢と、グローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢（目標上体姿勢）との差を姿勢回転偏差変化量として算出する。なお、グローバル座
10 標系から見た目標歩容の上体姿勢とは、現在の推定支持脚座標系上で、1 歩の間、上体 3 の姿勢傾きやスピン（目標上体姿勢からのずれ）がなくロボット 1 が目標歩容通りに運動したと仮定した場合のグローバル座標系から見た上体姿勢のことである。ただし、推定支持脚座標系とは、実際のロボット 1 の支持脚足平 2 2 の推定位置姿勢に対応した支持脚座
15 標系である。すなわち、推定支持脚座標系は、前記した支持脚座標系の定義によって、より具体的には、実際のロボット 1 の支持脚足平 2 2 を、その推定位置姿勢から、接地面との間で滑らさないで水平まで回転させた時の、該支持脚の足首中心から接地面への垂直投影点を原点とし、該支持脚足平 2 2 のつま先に向かう水平軸を X 軸にとり、鉛直軸を Z 軸、
20 これらに直交する座標軸を Y 軸にとった座標系である。第 1 実施形態においては、後述のごとく推定支持脚座標系は、着地が確定した時のみ更新されるので、着地時の実際のロボットの支持脚足平 2 2 の推定位置姿勢に対応する支持脚座標系となる。結局、第 1 実施形態においてはロボット 1 の自己位置の推定値として推定支持脚座標系の位置姿勢が推
25 定される。

なお、S 2 0 0 4 において、着地確定時における推定上体姿勢と目標

歩容の上体姿勢との差を姿勢回転偏差変化量として算出するようにしたが、厳密には、1歩の間の期間における推定上体姿勢の変化量と目標歩容の上体姿勢の変化量との差を姿勢回転偏差変化量として算出するのが良い。ただし、第1実施形態においては、以下のアルゴリズムを実行することによって、自動的に、1歩の初めにおいて推定上体姿勢と目標歩容の上体姿勢とは一致するので、推定上体姿勢と目標歩容の上体姿勢との差と、1歩の間の期間における推定上体姿勢の変化量と目標歩容の上体姿勢の変化量との差は同一となるので、いずれの差を用いても構わない。

- 10 次いでS 2 0 0 6に進み、姿勢回転中心を決定する。具体的には、前回歩容の目標ZMPのうち、例えば前回歩容の後側の支持脚足平2 2がつま先接地になった状態での目標ZMPを姿勢回転中心として決定する。

- 次いでS 2 0 0 8に進み、現在の推定支持脚座標系（詳しくは前回歩容の支持脚足平2 2の着地確定時に決定された推定支持脚座標系で、図
15 1 1に示す滑りが発生する前の推定支持脚座標系）を、前記姿勢回転偏差変化量だけ、S 2 0 0 6で決定した姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系（図1 1に例示する滑りが発生した後の推定支持脚座標系）と決定する。

- なお、推定支持脚座標系の原点および座標軸の向きは、グローバル座
20 標系によって表されるものとする。

また、S 0 1 0の初期化处理において、推定支持脚座標系の初期値（グローバル座標系での初期位置姿勢）がセットされているものとする。

- 次いでS 2 0 1 0に進み、現在の推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置姿勢関係が目標歩容（前回歩容）における
25 支持脚座標系に対する次回歩容支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系（図1 1に例示する次回

歩容推定支持脚座標系)を決定する。なお、ここで言う次回歩容支持脚座標系は、これから生成しようとしている今回歩容に対する次回歩容支持脚座標系ではなく、前回歩容の次の歩容(つまり今回歩容)の支持脚座標系のことである。

- 5 次いでS 2 0 1 2に進み、S 2 0 1 0で決定した次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢(原点の位置及び座標軸の向き)を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。以上をもってS 0 1 6の自己位置推定処理を終了し、前述のごとくS 0 1 8に進む。

以上が、第1実施形態におけるS 0 1 6の自己位置推定処理である。

- 10 推定支持脚座標系の回転中心は、空中期のない通常の歩行においては、支持脚足平2 2の滑り回転の回転中心を意味する。なお、走りなど、1歩の途中に支持脚も床から離れている空中期においては、狭義の意味では支持脚足平2 2の滑りが存在するわけではないので、空中での姿勢回転(あるいはスピン)は、推定支持脚座標系の回転中心まわりの回転で
- 15 表現するのが望ましい。しかし、広義の意味で「支持脚足平の滑り」を推定支持脚座標系の回転中心まわりの姿勢回転と定義しても良いことである。

- 補足すると、支持脚座標系は、支持脚足平2 2の接地面に対して設定するもので、その原点は、前述のように支持脚の足首中心から接地面への垂直投影点にしくても良い。すなわち、支持脚座標系は、ロボット
- 20 の運動を記述するための支持脚足平2 2の近傍の仮想の床に設定されたローカル座標系である。結局、ロボット1の姿勢回転(あるいはスピン)現象は、ロボット1が前記仮想の床上で相対的には姿勢回転(あるいはスピン)しないで運動している状態を保ったまま、ロボット1ごと
- 25 前記仮想の床を、グローバル座標系のなかである所定の点を回転中心として姿勢回転(あるいはスピン)させた現象とみなされる。

さらに言い替えると、ロボット1の運動は、ローカル座標系において目標歩容あるいは関節変位検出値に従って運動しているロボット1の全体が、ローカル座標系ごと、グローバル座標系に対して、ある所定の点（姿勢回転中心）を回転中心として振動回転をしているとみなすことができる。

したがって、姿勢回転中心は、推定支持脚座標系の回転中心であり、また、前記振動回転の回転中心であるとも言える。

第1実施形態のS2008において、上体3の姿勢の傾斜成分の差も含めて、現在推定支持脚座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ回転させると、一般的には、現在推定支持脚座標系のZ軸は鉛直方向を向かなくなる。

本実施形態では、現在推定支持脚座標系は、着地毎にしか更新されないもので、着地瞬間の上体姿勢によって現在推定支持脚座標系が傾いたままであることは、好ましいことではない。したがって、現在推定支持脚座標系は、Z軸の向きが鉛直方向になるように決定されるべきである。そこで、第1実施形態では、S2008において、現在の推定支持脚座標系を回転させた後に、その回転後の現在の推定支持脚座標系のZ軸の向きを鉛直方向に戻す。具体的には、回転後の現在の推定支持脚座標系を、そのZ軸の鉛直方向に対する傾斜角度分だけ、該推定支持脚座標系の原点回りに回転させることで、該推定支持脚座標系のZ軸の向きを鉛直方向に戻す。あるいは、S2008において、現在の推定支持脚座標系を、前記姿勢回転偏差変化量だけ回転させる代わりに、この姿勢回転偏差変化量のうちの鉛直軸まわり成分（スピン成分）だけ回転させても良い。または、S2010において、次回歩容推定支持脚座標系のZ軸の向きを鉛直方向に戻しても良い。

以降、第2実施形態までは、同様に、現在推定支持脚座標系は、Z軸

の向きが鉛直方向になるように決定するのが良い。第3実施形態以降においても、スピンによる自己位置ずれを重視するならば、同様にしても良い。

- 上記のごとく、第1実施形態においては、実際のロボット1の挙動を、
- 5 ロボット1の運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボット1が、姿勢検出手段（S2000の処理）によって得られた上体3の姿勢（実姿勢の推定値）と上体3の目標姿勢との差の1歩の間の変化量としての前記姿勢回転偏差変化量（あるいは該姿勢回転偏差変化量の鉛直軸回り成分）の分だけ、姿勢回
- 10 転中心決定手段（S2006の処理）によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚足平22の位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち足平22の着地点の位置及び向き、さらに言い換えると足跡（foot print）が、1歩毎（着地毎）に推定される。
- 15 なお、以上説明した第1実施形態は、本発明の第1発明～第5発明、並びに、第7、第8発明に対応するものである。

- 次に、本発明の第2実施形態を図12及び図13を参照して説明する。なお、第2実施形態は、前記図9のS016の自己位置姿勢推定処理のみが第1実施形態と相違し、これ以外の構成及び制御ユニット60の処
- 20 理は、第1実施形態と同じである。

図12は第2実施形態での自己位置姿勢推定処理を示すフローチャートである。なお、以下に説明する第2実施形態の自己位置推定処理は、ロボット1の歩行を行っている場合の処理である。

- 以下説明すると、まずS2100において、第1実施形態と同様、上
- 25 体3の傾斜センサ54に備えたジャイロセンサの検出値（角速度検出値）を積分器により積分して推定上体姿勢を求める。次いでS2102

に進み、第1実施形態と同様、着地が確定したか否かを判定する。

S 2 1 0 2 の判定結果がN Oである場合には、以上をもって図9のS 0 1 6の自己位置推定処理を終了し、前述のごとくS 0 1 8に進む。

S 2 1 0 2 の判定結果がY E Sである場合には、以下の処理を行う。

- 5 すなわち、まずS 2 1 0 4に進み、第1実施形態と同様、グローバル座標系から見た推定上体姿勢とグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢との差を姿勢回転偏差変化量として算出する。

次いでS 2 1 0 6に進み、第1実施形態と同様、姿勢回転中心を決定する。

- 10 次いでS 2 1 0 8に進み、第1実施形態と同様、現在の推定支持脚座標系を、前記姿勢回転偏差変化量だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系と決定する。図13に、回転させる前の現在推定支持脚座標系と回転させた後の現在推定支持脚座標系とを例示する。

- 15 次いでS 2 1 1 0に進み、少なくとも関節変位検出値を基にキネマティクス演算によって、現在の推定支持脚座標系における着地時の実遊脚足平位置・姿勢（図13の例ではロボット1の前側の足平22の位置姿勢）を推定する。以降、推定された着地時の実遊脚足平位置・姿勢を推定着地時遊脚足平位置姿勢と呼ぶ。

- 20 ただし、この時、ロボット1が、現在の推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、現在の推定支持脚座標系上の仮想の床に対して支持脚の足平22が滑ることなく、関節変位検出値の通りに運動しているものと仮定する。

- 補足すると、前記姿勢回転偏差変化量だけ前記姿勢回転中心まわりに
25 回転させた現在推定支持脚座標系上で、ロボット1が、目標歩容通りの上体姿勢を維持している姿を想定した理由は、この瞬間において、想定

した姿における上体姿勢を、グローバル座標系において、推定上体姿勢に一致させるためである。したがって、現在推定支持脚座標系を、前記差だけ姿勢回転させる代わりに、前記姿勢回転偏差変化量の内の鉛直軸まわり成分（スピン成分）だけ回転させる場合には、ロボット1が、現在
5 現在の推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体向きを維持しつつ、上体傾きは、前記姿勢回転偏差変化量の傾き成分に一致し、現在の推定支持脚座標系上の仮想の床に対して支持脚の足平22が滑ることなく、関節変位検出値の通りに運動しているものと仮定する。

また、この時、6軸力センサ50による床反力検出値と目標歩容の床
10 反力とのうちの少なくともいずれかを基に、足平22の変形機構（前記図3及び図4に示した弾性部材106、接地部材（足底弾性体）71、袋状部材109等）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求め、その変形量を含めて（考慮して）、推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めても良い。より具体的には、図13に示すロボ
15 ット1の姿のように、現在の推定支持脚座標系において上体姿勢を目標上体姿勢とし、関節変位を関節変位検出値（第 j 関節変位検出値 θ_j 、 $j = 1, 2 \dots$ ）とし、変形機構の変形量を床反力検出値を基に推定した変形量とした場合の全体姿（その瞬間のロボット1の全体の姿）を求め、この全体姿における支持脚（図13ではロボット1の後ろ側の脚体2）
20 に対する遊脚足平位置姿勢を求め、これをもって推定着地時遊脚足平位置姿勢とするようにしても良い。また、モータ電流指令あるいは検出値を基に外乱オブザーバを用いて、減速機やリンクに作用する負荷を推定し、推定した負荷を基に前記減速機やリンクの変形を推定して、前記減速機やリンクの変形を含めて（考慮して）、推定着地時遊脚足平位置姿
25 勢を求めるようにしても良い。

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量

（本出願人が先に提案した特開平 10-277969 号を参照のこと）を基に、キネマティクス演算によって推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めるようにしても良い。

これらにより、より一層精度良く推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めることができる。

次いで S 2 1 1 2 に進み、前記推定着地時遊脚足平位置姿勢を基に、図 1 3 に示すように、現在推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置・姿勢を求める。なお、推定着地時遊脚足平位置姿勢、すなわち次回歩容の支持脚足平 2 2 の位置姿勢と、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢の対応関係は、前述のごとく支持脚足平 2 2 と支持脚座標系との対応関係と同一にする。

次いで S 2 1 1 4 に進み、図 1 3 に示すように、回転させた後の現在推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置・姿勢と、グローバル座標系から見た、回転させた後の現在推定支持脚座標系の位置姿勢とを基に、グローバル座標系から見た次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を求める。

次いで S 2 1 1 6 に進み、上記の如く求めた次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。以上をもって図 9 の S 0 1 6 の自己位置推定処理を終了し、前述のごとく S 0 1 8 に進む。

上記のごとく、第 2 実施形態においては、実際のロボット 1 の挙動を、ロボット 1 の運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動しているロボット 1 が、1 歩の間に、姿勢検出手段（S 2 1 0 0 の処理）によって得られた上体 3 の姿勢（実姿勢の推定値）と上体 3 の目標姿勢との差の 1 歩の間の変化量としての前記姿勢回転偏差変

化量だけ、姿勢回転中心決定手段（S 2 1 0 6 の処理）によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち足平 2 2 の着地点の位置及び向き、
5 さらに言い換えると足跡（foot print）が、1 歩毎（着地毎）に推定される。

なお、以上説明した第 2 実施形態は、本発明の第 1 ～第 5 発明及び第 7 ～第 9 発明に対応するものである。

次に本発明の第 3 実施形態を図 1 4 及び図 1 5 を参照して説明する。

10 なお、第 3 実施形態は、前記図 9 の S 0 1 6 の自己位置姿勢推定処理のみが第 1 実施形態と相違し、これ以外の構成及び制御ユニット 6 0 の処理は、第 1 実施形態と同じである。

図 1 4 は、第 3 実施形態における図 9 の S 0 1 6 の自己位置推定処理のフローチャートである。

15 第 3 実施形態においては、第 1、第 2 実施形態と異なり、制御周期毎に、推定支持脚座標系の姿勢回転（またはスピン）を推定し、推定支持脚座標系を更新するようにした。また、制御周期毎の各瞬間における上体姿勢を推定すると共に、さらに上体位置（厳密には上体の代表点の位置）も推定するようにした。

20 詳細を説明すると、まず、S 2 2 0 0 において、第 1 実施形態と同様、推定上体姿勢を求める。

次いで S 2 2 0 2 に進み、制御周期の間におけるグローバル座標系から見た推定上体姿勢の変化量と、該制御周期の間におけるグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の変化量との差を姿勢回転偏差変化量
25 としてを算出する。すなわち、前記第 1、第 2 実施形態では、1 歩の期間における推定上体姿勢の変化量と目標歩容の上体姿勢の変化量との差

を姿勢回転偏差変化量として求めたが、第3実施形態では、制御周期毎の両変化量の差を姿勢回転偏差変化量として求める。

次いでS 2 2 0 4に進み、第1実施形態と同様、姿勢回転中心を決定する。具体的には、その瞬間の目標ZMP（目標ZMPの現在値）を姿勢
5 回転中心とする。

次いでS 2 2 0 6に進み、現在の推定支持脚座標系（前回の制御周期で決定された推定支持脚座標系で、図15に示す時刻 $t - \Delta t$ における推定支持脚座標系）を、前記姿勢回転偏差変化量だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系（図
10 15に示す時刻 t における推定支持脚座標系）と決定する。回転のさせ方は第1実施形態と同様である。

次いでS 2 2 0 8に進み、着地時刻であるか否か、すなわち歩容の切り替わり目であるか否かを判定する。

S 2 2 0 8の判定結果がYESである場合には、以下の処理を行う。
15 すなわち、まずS 2 2 1 0に進み、第1実施形態と同様、現在の推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置姿勢関係が、目標歩容（前回歩容）における支持脚座標系に対する次回歩容支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系を決定する。

20 次いでS 2 2 1 2に進み、第1実施形態と同様、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。

S 2 2 1 2の後、あるいはS 2 2 0 8において否定された場合には、S 2 2 1 4に進み、現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に対応して推定上体位置を決定する。ただし、現在の推定支持脚座標系に対する推定上
25 体位置の関係は、目標歩容（前回の制御周期で決定された目標歩容）の支持脚座標系に対する上体位置の関係に一致させる。

以上をもってS 0 1 6の自己位置推定処理を終了し、前述のごとくS 0 1 8に進む。

上記のごとく、第3実施形態においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で
5 目標歩容通りに運動しているロボット1が、各瞬間に、姿勢検出手段（S 2 2 0 0の処理）によって得られた上体姿勢の変化量（変化速度）と目標歩容の上体姿勢の変化量（変化速度）との差としての姿勢回転偏差変化量で、姿勢回転中心決定手段（S 2 2 0 4の処理）によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系
10 と共に、回転したものであるとみなす。そして、その上で、新たな推定支持脚座標系と推定上体位置とが各瞬間（制御周期毎）に決定（更新）されるとともに、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向き、さらに言い換えると新たな足跡（foot print）が、1歩毎（着地毎）に推定される。

15 なお、本実施形態は、ロボット1の歩行を行う場合だけでなく、ロボット1の走行を行う場合でもよい。但し、走行を行う場合にS 2 2 0 4で姿勢回転中心を決定するときには、片脚支持期では、姿勢回転中心を各瞬間（現在）の目標ZMPとすればよいが、ロボット1の両脚体2、2が空中に浮く空中期では、姿勢回転中心を、各瞬間（現在）の目標歩
20 容におけるロボット1の重心の位置に決定する。

また、ロボット1の歩行を行なう場合には、S 2 2 1 4においては、少なくとも現在の推定支持脚座標系と関節変位検出値とを基に、S 2 1 1 0において推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めた手法と同様の手法で、支持脚座標系に対する上体位置を求め、この位置関係に、推定支持脚座
25 標系に対する推定上体位置が一致するように、推定上体位置を求めても良い。この場合、推定上体位置、推定支持脚座標系および関節変位検出

値の関係は、図13に示すようになる。

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量
(本出願人が先に提案した特開平 10-277969 号を参照のこと) を基に、
キネマティクス演算によって支持脚座標系に対する上体位置・姿勢を求
め、これに推定支持脚座標系に対する推定上体位置姿勢の関係を一致さ
せても良い。

これらにより、より一層精度良く推定上体位置姿勢を決定することが
できる。

また、ロボット1の歩行を行なう場合には、S2210の代わりに、
第2実施形態における図12のS2110からS2114の処理を実行
しても良い。これにより、より一層精度良く、着地時の推定支持脚座標
系を決定することができる。

またさらに、S2210の代わりに、第2実施形態におけるS211
0からS2114の処理を実行すると共に、S2214において、上記
のごとく少なくとも関節変位検出値を基にキネマティクス演算によって
推定上体位置・姿勢を求めても良い。このとき、前記第2実施形態で説
明した如く、床反力検出値を基に、足平22の変形量を考慮して、推定
着地時遊脚足平位置姿勢を求め、これを用いて次回歩容推定支持脚座標
系を決定するようにすることがより好ましい。

言い換えると、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述する
ローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢
を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動しているロボッ
トが、各瞬間(各制御周期)に、姿勢検出手段(S2200の処理)によ
って得られた上体姿勢の変化量(制御周期当たりの変化量でこれは変
化速度に相当する)と目標歩容の上体姿勢の変化量(制御周期当たりの
変化量でこれは変化速度に相当する)との差としての姿勢回転偏差変化

量で、姿勢回転中心決定手段（S 2 2 0 4 の処理）によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなす。そして、その上で各瞬間に（制御周期毎に）新たな推定支持脚座標系と推定上体位置を決定（更新）するとともに、
6 に、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向き、さらに言い換えると新たな足跡（foot print）が、1 歩毎（着地毎）に推定されるようにしても良い。

これにより、より一層精度良く、着地時の推定支持脚座標系を決定す
10 ることができるとともに、推定上体位置姿勢が不連続になることを防止することができる。

なお、以上説明した第 3 実施形態は、本発明の第 1 ～第 6 発明、並びに、第 8、第 9 発明に対応するものである。

次に本発明の第 4 実施形態を図 1 6 ～図 1 9 を参照して説明する。な
15 お、図 9 の S 0 1 6 の自己位置姿勢推定処理のみが前記第 1 実施形態と相違し、これ以外の構成及び制御ユニット 6 0 の処理は、第 1 実施形態と同じである。

前記第 3 実施形態の如く決定された推定上体位置を、以降、「幾何学的推定上体位置」という。幾何学的推定上体位置は、グローバル座標系
20 から見た位置である。

一方、加速度センサとジャイロセンサの検出値を基に、公知の技術である慣性航法によって推定されるグローバル座標系から見た上体の位置・姿勢を慣性航法的推定上体位置姿勢と呼ぶ。なお、第 3 実施形態の S 2 2 0 0 で求められる推定上体姿勢は、慣性航法的推定上体姿勢であ
25 る。

幾何学的推定上体位置は、前記第 3 実施形態で説明した如く、床を基

準にして幾何学的に推定される上体位置であるので、走行などの空中期においては、推定精度が低下し易い。

一方、慣性航法的推定上体位置姿勢は、歩行、走行を問わず、片脚支持脚期、両脚支持期および空中期のいずれの時期においても、推定原理
5 が同一であるので、いかなる時期においても短期的な精度が低下することはないが、積分が用いられるため、長期的なドリフトが発生しやすい。

これらの特性を考慮し、第4実施形態は、慣性航法的推定上体位置姿勢を幾何学的推定上体位置で補正するようにした。

また、幾何学的推定上体位置及び推定上体姿勢の運動から算出される
10 ロボット1の運動加速度と、加速度センサの検出値とを用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正すると共に、推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正するようにした。さらに、状況によって、ジャイロセンサの検出値のヨー方向のドリフト補正も行うようにした。

図16は、第4実施形態における図9のS016の自己位置推定処理
15 のフローチャート、図17は、同推定処理のブロック図である。

図16および図17を用いて、第4実施形態における図9のS016の自己位置推定処理を説明すると、まず図16のS2300において、ジャイロセンサの検出値を積分して推定上体姿勢を求める。ただし、前制御周期（前回以前の制御周期）に求めた幾何学的推定上体位置の運動
20 から算出される運動加速度と、加速度センサの検出値を用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正することで、推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正する。

S2300の処理を詳説すると、まず、前回の制御周期およびそれ以前に、後述するS2302において決定した幾何学的推定上体位置の運動
25 を基に、幾何学的推定上体位置の2階微分である幾何学的推定上体加速度を算出する。この処理は、図17のブロック301で実行される。

なお、幾何学的推定上体位置を求める処理は、図17のブロック300で実行される。補足すると、上体代表点と加速度センサの位置が一致していれば、幾何学的推定上体加速度（厳密には、幾何学的に推定される上体3の中の加速度センサ位置の加速度）を算出する上で、推定上体姿勢は必要ない。

次いで、加速度センサ検出値（上体加速度検出値）を、推定上体姿勢を用いてグローバル座標系に変換してなる加速度センサ検出値グローバル座標系換算値を求める。この処理は、図17のブロック302で実行される。なお、説明を簡単にするために、ここでは、加速度センサの位置と上体代表点の位置は一致しているものとする。異なる場合には、キネマティクス演算によって、加速度センサ検出値およびジャイロセンサ検出値を上体代表点における加速度・角速度に変換するか、あるいは、上体代表点における加速度・角速度を加速度センサの位置における加速度、ジャイロセンサの位置における角速度に変換すれば良い。

次いで、図18（a）および図18（b）に示すように、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から幾何学的推定上体加速度を減じる（ベクトルの減算を行う）ことにより、推定重力加速度を求める。加速度センサ検出値グローバル座標系換算値には、加速度センサに作用する重力による加速度成分が含まれるが、幾何学的推定上体加速度には、重力による加速度成分が含まれない。従って、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から幾何学的推定上体加速度を減じることで、推定重力加速度が求められる。この処理は、図17のブロック303で実行される。なお、図18（a）は、推定上体姿勢に誤差がない場合、図18（b）は、推定上体姿勢に誤差（以降、これを推定上体姿勢誤差、あるいは推定上体姿勢誤差角度と呼ぶ）がある場合を示す。

一方、図18（a）および図18（b）に示すように、推定上体姿勢

を基にロボット1が推定したグローバル座標系の鉛直方向（Z軸方向）に発生すると想定される重力加速度を想定重力加速度と呼ぶ。

前述したように、幾何学的推定上体加速度はグローバル座標系で記述される。また、実際のロボット1は、推定上体姿勢が実際の上体姿勢を
5 正しく推定しているとみなした上で、目標歩容に追従するように運動している。言い換えると、推定上体位置姿勢を基に推定されるグローバル座標系が正しいとみなした上で、前記推定されたグローバル座標系上で目標歩容に追従するように運動している。より厳密に表現するならば、ロボット1の自己位置姿勢推定処理においては、推定上体位置姿勢を基
10 に推定されるグローバル座標系が正しいと信じ、実際のロボット1の挙動を、正しいと信じているグローバル座標系に設定されるローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボット1が、各瞬間に、姿勢検出手段によって得られた（検出あるいは推定された）上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差としての姿
15 勢回転偏差変化量で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなしている。

したがって、推定上体姿勢が正しく、かつ加速度センサの検出値に誤差がなければ、図18（a）に示すように、前記想定重力加速度と前記
20 推定重力加速度とは一致する。

これに対し、加速度センサの検出値に誤差がなくても、推定上体姿勢に誤差があれば、図18（b）に示すように、前記想定重力加速度の向きと前記推定重力加速度の向きとには、推定上体姿勢誤差角度だけずれが生じる。すなわち、式42が成立する。

推定上体姿勢誤差角度 = 想定重力加速度と推定重力加速度との間の角度

…式 4 2

5 図 1 8 (a) および図 1 8 (b) に示すように、推定重力加速度と想定重力加速度との差を重力加速度推定誤差と呼ぶと、上記の関係から、重力加速度推定誤差は、加速度センサの検出値に誤差がなければ、推定上体姿勢の誤差によって発生し、推定上体姿勢を基にロボット 1 が推定したグローバル座標系から見た重力加速度推定誤差の水平成分（推定重力加速度の想定重力加速度に直交する成分）と推定上体姿勢誤差角度と
10 には、式 4 3 の関係があることがわかる。ただし、式 4 3 は、重力加速度推定誤差の前後方向成分（X 成分）と推定上体姿勢誤差角度 Y 軸まわり成分との関係を表す。重力加速度推定誤差の左右方向成分（Y 成分）と推定上体姿勢誤差角度 X 軸まわり成分の関係を表す場合においては、
15 右辺のマイナス記号を削除すれば良い。ここで、重力加速度は、正である。

重力加速度推定誤差の水平成分

= $-\tan(\text{推定上体姿勢誤差角度}) * \text{重力加速度}$

…式 4 3

20

本実施形態においては、式 4 2 あるいは式 4 3 から算出される推定上体姿勢誤差角度を用いて、推定上体姿勢誤差が 0 に収束するように推定上体姿勢を補正するようにした。

S 2 3 0 0 の説明に戻ると、式 4 2 を用いて、現在の瞬間（厳密には、
25 1 制御周期前の瞬間）における想定重力加速度と推定重力加速度との間の角度から推定上体姿勢誤差角度を算出する。あるいは、式 4 3 を用い

て、現在の瞬間（厳密には、1制御周期前の瞬間）における重力加速度推定誤差の水平成分から推定上体姿勢誤差角度を算出しても良い。推定上体姿勢誤差角度の算出処理は、図17のブロック304で実行される。

次いで、前記推定上体姿勢誤差角度を、図17のブロック305にて、
5 センサ座標系（座標軸をジャイロセンサの検出軸に合わせた座標系）に変換した後、ブロック306にて、その変換後の値に積分ゲイン K_a を乗じた値を積分することにより、推定ジャイロセンサドリフト（ジャイロセンサのドリフトの推定値）を求める。さらに、この推定ジャイロセンサドリフトを、ブロック307にて、ジャイロセンサ検出値 ω_{in} （上
10 体角速度検出値）から減じることにより、ドリフトを補正した角速度を求める。なお、ブロック307では、ヨーレートのドリフトも適宜減算されるが、これについては後述する。さらに、このドリフトを補正した角速度を、ブロック350にて、推定上体姿勢を用いてグローバル座標系に変換することにより、グローバル上体角速度 ω_{gl} を求める。

15 次いで、前記推定上体姿勢誤差角度にゲイン K_b を図17のブロック309で乗じた値をブロック308にてグローバル上体角速度 ω_{gl} から減じ、その減算後の値（ブロック308の出力）をブロック310（積分器）で積分することにより新たな推定上体姿勢 θ_{estim} を求める。

20 なお、推定上体姿勢 θ_{estim} や角速度などは、クォータニオン、回転行列、あるいはオイラー角などで表現される。

ジャイロセンサのドリフト（推定ジャイロセンサドリフト）を上記のごとき構成により推定する場合、推定が効果的に働くためには、推定上体姿勢誤差角度のセンサ座標系への変換値（ベクトル）のそれぞれの要素（それぞれのセンサ検出軸まわりの推定上体姿勢誤差角度、言い換え
25 るとセンサローカル推定上体姿勢誤差角度）が、その要素に対応するジャイロセンサのドリフトの影響のみを受けて、他のジャイロセンサのド

リフトの影響を受けない、あるいは、ほとんど受けないことが前提条件となる。

言い換えると、推定上体姿勢誤差角度のX（Y）軸まわり成分の誤差は、X（Y）軸用ジャイロセンサのドリフトの影響を受けるが、Y
5 （X）軸用ジャイロセンサのドリフトの影響を受けないことが前提条件となる。

もし、X軸用ジャイロセンサのドリフトの影響により、推定上体姿勢誤差角度のX軸まわり成分が発生した後、上体をセンサ座標系のZ軸まわりに急に90度回転させると、推定上体姿勢誤差角度は、グローバル
10 座標系において蓄積されたままであるので、結果的に推定上体姿勢誤差角度のセンサローカルX軸まわり成分が、推定上体姿勢誤差角度のセンサローカルY軸まわり成分に移る。したがって、前記前提条件が成立するためには、センサ座標系Z軸まわりの回転速度の絶対値が十分に小さいことが必要条件となる。

15 よって、Z軸（上体の上下方向軸）用ジャイロセンサ検出値の絶対値が大きい時には、積分ゲイン K_a を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにするのが望ましい。

また、通常、ロボット1の移動時や作業時には、上体3の上下軸（体
20 幹軸）は鉛直姿勢あるいはその近傍の姿勢になっているので、ジャイロセンサの角速度検出値をグローバル座標系に変換したグローバル上体角速度 ω_{glz} は、Z軸用ジャイロセンサの角速度検出値の値に近い値となる。

よって、図19に示すように、ジャイロセンサの角速度検出値をグローバル座標系に変換したグローバル上体角速度の鉛直軸まわり角速度 ω_{glz} の絶対値が大きい時には、積分ゲイン K_a を小さくするか、あるい
25

は0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにしても良い。

また、ジャイロセンサの角速度検出値の代わりに、上体3の目標歩容の上体回転速度の鉛直軸まわり成分あるいは上体3の上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい時には、積分ゲイン K_a を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにしても良い。

以上をまとめて言い換えると、ジャイロセンサの角速度検出値および目標歩容の少なくともいずれかを基に求められる上体回転速度の鉛直軸まわり成分あるいは上体3の上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい時には、積分ゲイン K_a を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）と良い。

また、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から想定重力加速度を減じた値の絶対値あるいは、幾何学的推定上体加速度の絶対値が大きい場合には、センサの検出誤差やロボット1本体の剛性不足などにより、推定重力加速度の誤差が大きくなる傾向があるので、上記ゲイン K_a を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

また、前述したごとく、実際のロボット1は、推定上体位置姿勢を基に推定されるグローバル座標系が正しいとみなした上で、前記推定されたグローバル座標系上で目標歩容に追従するように運動している。したがって、支持脚が接地している状態においては、推定上体姿勢に大きな誤差があっても、実際の上体加速度は、実際の重力加速度に支配されず、前記推定されたグローバル座標系上での幾何学的推定上体加速度に、ほぼ一致する。一方、空中期においては、実際の上体加速度は、実際の重力加速度に支配されて加速するので、前記推定されたグローバル座標系上での幾何学的推定上体加速度の方向と大きくずれ、図18（b）の関

係が成立しなくなる。したがって、空中期においては、幾何学的推定上体位置の精度は、比較的高精度の加速度センサとジャイロセンサを基に慣性航法によって求めた上体位置の精度よりも低下しがちとなる。したがって、空中期においても、上記ゲイン K_a を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

また、前述のように足平22の変形を考慮して上体位置を推定する場合には、空中期でなくとも、脚体先端部の足平22が床と良好に接触していない状態では、足底付近の変形量推定の誤差が大きくなる傾向があるので、幾何学的推定上体加速度の精度は低下する。したがって、支持脚の足平22と床との間の接触面積が小さい場合にも、上記ゲイン K_a を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

なお、脚体2の足平22が床と良好に接触している状態とは、具体的には、以下のような状態の少なくともいずれかが満足する状態、あるいは以下のうちの複数が同時に満足する状態を指す。

- 15 a) 足平22の底面と床との間の接触面積が大きい状態、例えば、足平22が床にべたに接触している状態（いわゆるべた足状態）
- b) 床反力の分布圧が比較的均一である状態
- c) 接地箇所が多い状態
- d) 目標ZMP（あるいは実床反力中心点）が足平22の中央あるいは中央
20 央に近い状態
- e) 接地圧または床反力が高い状態
- f) 足平22の位置姿勢変化率が小さい状態、厳密には、足平22の底面と床の相対位置姿勢関係の変化が小さい状態

上記状態の判定には、例えば目標歩容の時期（フェーズ）、目標ZMP、床反力検出値を基に行えばよい。あるいは、本実施例では備えていないが、分布圧センサや接触センサの検出値を基に上記状態の判定を行

ってもよい。

以上のゲイン設定法をまとめると、ジャイロセンサの角速度検出値および目標歩容の少なくともいずれかを基に求められる上体回転速度の鉛直軸まわり成分あるいは上体3の上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい状態、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から想定重力加速度を減じた値の絶対値あるいは、幾何学的推定上体加速度の絶対値が大きい状態、空中期、あるいは、脚先端部（足平）が床と良好に接触していない状態では、上記ゲイン K_a を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

- 10 すなわち、これらの状態を基に総合的に判断して積分ゲイン K_a を決定するのが良い。

またこれらの状態の瞬時値、あるいは長期的傾向に応じて積分ゲイン K_a を決定しても良い。

- 15 同じ理由により、積分ゲイン K_b も前記ゲイン K_a と同様に設定することが好ましい。

本実施形態でのS2300においては、以上の処理の他に、以下のよう
に、状況によりヨーレート補正（ヨー方向のドリフト補正）も行われ
る。

- 20 すなわち、まず、ヨーレート補正を行うか否かを、図17のブロック
311で判定する。

具体的には、以下の条件の少なくともいずれかひとつあるいは複数を
判断条件として用意し、この判断条件を満足している場合には、ヨー
レート補正を行うと判断する。

- 25 a)検出された床反力の鉛直軸まわりモーメント（あるいはその微分値）
の絶対値がある所定の値以内である状況
b)目標動作がほぼ静止である状況

c)足底と床の間の接触状況が良好で滑りが生じていないと考えられる状況

d)目標歩容の姿勢角速度とジャイロ検出値（姿勢角速度検出値）の差の絶対値がある所定の値以内である状況

5 e)目標歩容の姿勢角速度の絶対値がある所定の値以内である状況

f)ジャイロ検出値（姿勢角速度検出値）の絶対値がある所定の値以内である状況

基本的には、支持脚足平22と床との接地面で滑り（回転滑り）が生じないかもしくは生じ難いという状況で、ヨーレート補正を行うと判断
10 する。

なお、d)およびf)におけるジャイロ検出値は、ジャイロセンサの検出値そのもの（ジャイロセンサの生の出力そのものが表す姿勢角速度検出値）をヨーレート補正した値であることが望ましい。

次いで、ヨーレート補正を行うと判定された場合には、図17に示す
15 ように、ブロック312にて、目標歩容、目標上体姿勢、目標関節変位あるいは関節変位検出値の少なくともいずれかと最新の着地時に記憶した推定支持脚座標系（以降、着地時推定支持脚座標系と呼ぶ）を基に、推定支持脚座標系に対応する足平22と床との間に滑りが生じていないと想定した場合の上体姿勢（以降、滑りなし推定上体姿勢と呼ぶ）を算
20 出する。そして、前記推定上体姿勢と前記滑りなし推定上体姿勢との差をブロック313で求め、この差をブロック314でセンサ座標系に変換したものを、フィードバック制御則のブロック315に入力することで、ヨーレートドリフトを求める。ブロック315のフィードバック制御則としては、例えばPID制御則が用いられ、前記差（ブロック31
25 4の出力）の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン K_e を乗じた値と、前記差（ブロック314の出力）にゲイン K_f

を乗じた値と、前記差（ブロック 314 の出力）の積分値にゲイン K_g を乗じた値との和を求めることによりヨーレートドリフトが求められる。そして、この求めたヨーレートドリフトを、前記ブロック 307 で前記角速度センサ検出値 ω_{in} から減じる。また、ヨーレート補正を行わないと判定された場合には、フィードバック制御則のブロック 315 への
5 入力を遮断して（図 17 のスイッチ 316 を開成する）、直前のヨーレートドリフト値を保持し、その値を前記角速度センサ検出値 ω_{in} から減じるようにする。なお、滑りなし推定上体姿勢を求める際には、図 12 の S2110 において着地時の遊脚足平位置・姿勢を推定する際と同様、床反力検出値および／または目標歩容の床反力を基に、足平 22 の
10 変形機構（前記図 3 及び図 4 に示した弾性部材 106、接地部材（足底弾性体）71、袋状部材 109 等）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求め、前記変形量を含めて（考慮して）、滑りなし推定上体姿勢を求めても良い。また、モータ電流指令あるいは検出値を基に外乱オブザーバを用いて、減速機やリンクに作用する負荷を推定し、推定した負荷を基に前記減速機やリンクの変形を推定して、前記減速機やリンクの変形を含めて（考慮して）、滑りなし推定
15 上体姿勢を求めるようにしても良い。

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量
20 （本出願人が先に提案した特開平 10-277969 号を参照）を基に、キネマティクス演算によって推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めるようにしても良い。

これらにより、より一層精度良く推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めることができる。

25 図 16 の説明に戻ると、以上のごとく S2300 の処理を完了した後、次いで、S2302 に進み、前述の第 3 実施形態の図 14 の S2202

から S 2 2 1 4 を実行して、推定支持脚座標系の位置姿勢および幾何学的推定上体位置を決定する。なお、このとき、第 3 実施形態に関して補足した如く、図 1 4 の S 2 2 1 0 の代わりに、第 2 実施形態における S 2 1 1 0 から S 2 1 1 4 の処理を実行すると共に、S 2 2 1 4 において、
5 上記のごとく少なくとも関節変位検出値を基にキネマティクス演算によって推定上体位置・姿勢を求めても良い。このとき、前記第 2 実施形態で説明した如く、床反力検出値を基に、足平 2 2 の変形量を考慮して、推定着地時遊脚足平位置姿勢を求め、これを用いて次回歩容推定支持脚座標系を決定するようにすることがより好ましい。

- 10 次いで、S 2 3 0 4 に進み、加速度センサとジャイロセンサを基に慣性航法により慣性航法的推定上体位置姿勢を求めつつ、幾何学的推定上体位置と慣性航法的推定上体位置との差が 0 に収束するように慣性航法の上体位置を修正する。

- 具体的には、図 1 7 に示すごとく慣性航法的推定上体位置
15 Xinertestm の前回値と前記幾何学的推定上体位置との差をブロック 3 1 7 で求め、この差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン Kc を乗じた値と、該差にゲイン Kd を乗じた値との和をブロック 3 1 8 で求める。つまり、上記差からフィードバック制御則としての PD 制御則より、上記和を求める。また、前記ブロック 3 0 2 の
20 出力である前記加速度センサ検出値グローバル座標系換算値と想定重力加速度 G の差をブロック 3 1 9 で求める。そして、この差（ブロック 3 1 9 の出力）から上記和（ブロック 3 1 8 の出力）をブロック 3 6 0 にて減じた値を、ブロック 3 2 0 にて 2 階積分することにより、新たな慣性航法的推定上体位置 Xinertestm を決定する。

- 25 なお、ゲイン Kc および Kd は、幾何学的推定上体位置の誤差が大きく発生し易い状況では小さく、あるいは 0 に設定するのが良い。支持脚

の足平 2 2 の底面と床との間の接触面積が小さい場合、幾何学的推定上
体位置の誤差は、大きくなる。したがって、支持脚の足平 2 2 の底面と
床との間の接触面積が小さい場合には、上記ゲイン Kc および Kd を小
5 さく、あるいは 0 に設定するのが良い。また、特に、足平 2 2 が床にべ
たに接触している状態（いわゆるべた足状態）の時に、上記ゲイン Kc
および Kd を大きくするのが良い。

以上より、例えば、走行の場合には、補正ゲイン Ka、Kb、Kc およ
び Kd は、図 8（c）に示す補正ゲイン K のグラフのように、足底全面
接地期間では高く、空中期には、0 または概ね 0 にすれば良い。なお図
10 8（c）の補正ゲイン K のグラフは、Ka、Kb、Kc および Kd の大きさ
の変化の傾向を表してはいるが、厳密な値を表しているわけではない。
また、図 8（c）では補正ゲイン K の最大値が 1 となるように規格化さ
れている。したがって、K は、補正ゲイン Ka、Kb、Kc、Kd の絞り
（減衰器）を意味すると考えても良い。

15 本実施例においては、前記式 4 2 あるいは式 4 3 を用いて算出される
推定上体姿勢誤差を基に推定上体姿勢を補正するようにしたが、式 4 2
および式 4 3 を用いず、直接、重力加速度推定誤差の水平成分を基に推
定上体姿勢を補正するようにしても良い。すなわち、式 4 3 の代わりに
次の式 4 4 を用いても良い。

20

重力加速度推定誤差の水平成分 = - 推定上体姿勢誤差角度 * 重力加
速度

…式 4 4

25 なお、ゲイン Ka の設定について補足すると、空中期においては、推
定上体姿勢の誤差がいかなる値であろうとも、ロボット 1 とともに放物

運動をする座標系から見ればロボット1全体は無重力状態にいるのと同じであって、加速度センサの出力は、推定上体姿勢の誤差の影響を受けない。したがって、加速度センサの検出精度が高く、目標歩容に対する実際のロボット1の追従性が高く、ロボット1の剛性が高く、且つ目標歩容を生成するために用いられるロボット動力学モデルのパラメータが実際のロボット1とほぼ一致しているという条件（以下、ここでは条件Aという）が満足されるならば、推定重力加速度と想定重力加速度とは常にほぼ一致する。厳密には、推定上体姿勢の誤差に応じて、推定重力加速度と想定重力加速度とは同じ量だけ真値からずれるので、結果的に推定重力加速度と想定重力加速度とは常にほぼ一致する。したがって、本質的に、空中期においては、重力方向を推定することはできない。しかし、推定重力加速度と想定重力加速度とは常にほぼ一致するので、その瞬間の推定上体姿勢誤差はほぼ0となり、上記ゲイン K_a を小さく設定しなくても、推定上体姿勢誤差にゲイン K_a を乗じて求められる補正量もほぼ0となり、推定上体姿勢に大きく悪影響を与える恐れは低い。

また、上記条件Aを満足する場合には、ゲイン K_a を一定にしておいた方が、むしろ推定上体姿勢の低周波数成分（DC成分）の精度が高くなる場合もある。なぜなら、上記のごとく、ゲイン K_a を乗じた値を積分した値を0にするように補正した構成は、ゲイン K_a を一定にすると、理論上、重力加速度推定誤差の水平成分の長時間平均値を0にするように作用し、また、推定上体姿勢誤差が0の時には、重力加速度推定誤差の水平成分の長時間平均値は理論上0になるからである。しかし、通常は、上記条件Aを満足することは難しいので、図8（c）のようにゲイン K_a を設定する方が望ましい。

なお、以上説明した第4実施形態は、本発明の第1～第6発明、第8～第22発明に対応するものである。

次に本発明の第5実施形態を説明する。図20及び図21を参照して説明する。図20は、第5実施形態における図9のS016の自己位置推定処理のフローチャート、図21は、第5実施形態におけるS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置を推定する手段を示すブロック図である。なお、第5実施形態は、第4実施形態において慣性航法的推定上体位置 $X_{inertestm}$ を決定する代わりに、後述する慣性航法的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ を、制御周期毎に決定するようにした。これ以外は、第4実施形態と同じである。また、図21では、図17と同一構成部分については、図17と同一の参照符号を用いている。

10 図20および図21を参照して、第5実施形態におけるS016の自己位置推定処理を説明すると、まず、図20のS2400において、第4実施例の図16のS2300と同様に、ジャイロセンサの検出値を積分して推定上体姿勢を求めつつ、ジャイロセンサの検出ドリフトと推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正する。

15 次いでS2402に進み、前述の図14のS2202からS2214を実行して、推定支持脚座標系の位置姿勢および幾何学的推定上体位置を決定する。

次いでS2404に進み、前記推定支持脚座標系の位置姿勢、目標上体位置姿勢（あるいは前記幾何学的推定上体位置）および関節変位検出
20 値（あるいは目標値）を基に、前記第3実施形態のごとく実際のロボットの挙動（姿勢回転）を考慮して、全体重心位置をキネマティクス演算によって算出する。この処理は、図21のブロック330で実行される。このようにして算出された全体重心位置を幾何学的推定全体重心位置と呼ぶ。

25 次いでS2406に進み、関節角検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）および前記加速度センサ検出値グロー

バル座標系換算値を基に、全体重心の加速度をキネマティクス演算によって算出する。この処理は、図21のブロック331で実行される。以降、このようにして求められた全体重心の加速度を慣性航法的推定全体重心加速度と呼ぶ。

- 5 次いでS2408に進み、前記慣性航法的推定全体重心加速度を基に慣性航法により慣性航法的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ を求めつつ、幾何学的推定全体重心位置と慣性航法的推定全体重心位置の差が0に収束するように慣性航法的推定全体重心位置を修正する。より具体的には、図21に示すように、前制御周期（前回以前の制御周期）に決定した慣性航法的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ と前記幾何学的推定上体位置との差をブロック332で求め、この差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン K_c を乗じた値と、該差にゲイン K_d を乗じた値との和をブロック333で求める。つまり、上記差からフィードバック制御則としてのPD制御則より、上記和を求める。そして、
- 10 ブロック331の出力である慣性航法的推定全体重心加速度から上記和（ブロック333の出力）をブロック334で減じた値をブロック335にて2階積分することにより、新たな慣性航法的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ を決定する。

- 最後にS2410に進み、前記慣性航法的推定全体重心位置、関節変位検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を基に、グローバル座標系における推定上体位置を求める。この処理は、図21のブロック336で実行される。

以上が、第5実施形態における図9のS016の自己位置推定処理である。

- 25 第5実施形態においては、空中期であるか否かを判定して、空中期である場合には、加速度センサを用いずに、全体重心は放物運動を行うと

いう想定のもとで、前記慣性航法的推定全体重心加速度を決定しても良い。

ロボット1が環境から外力を受けないことが明白な場合には、空中期においては、全体重心は放物運動を行うので、これにより、より一層精度良く全体重心位置を推定することができる。

なお、空中期であるか否かは、目標歩容の時期（フェーズ）、目標歩容の床反力あるいは、床反力検出値の少なくともいずれかを用いて判定すれば良い。

特に、全体重心位置の推定精度を極力高くしたい場合には、床反力検出値が所定の値以下であるか否かによって空中期であるか否かを判定すれば良い。

なお、以上説明した第5実施形態は、本発明の第1～第6発明、第8～第22発明に対応するものである。

次に本発明の第6実施形態を図22を参照して説明する。図22は、第6実施例における図9のS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置を推定する手段を示すブロック図である。

第6実施形態においては、第5実施形態において加速度センサ検出値を基に慣性航法的推定全体重心位置を算出する代わりに、前記6軸力センサ（床反力センサ）50の床反力検出値を基に動力的推定全体重心位置を算出するようにした。これ以外は、第5実施例と同じである。また、図22では、図21と同一構成部分については、図21と同一の参照符号を用いている。

図22を用いて、制御周期毎の全体重心位置の推定処理を説明すると、まず、床反力センサ（6軸力センサ50）の検出値を、関節角検出値（あるいは目標値）および推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を用いて、ブロック340にてグローバル座標系の値に換算する。以降、こ

の換算された床反力センサ検出値を、床反力センサ検出値グローバル座標系換算値と呼ぶ。

次いで、前記床反力センサ検出値グローバル座標系換算値をブロック 3 4 1 にてロボット 1 の全体質量で割った値から、ブロック 3 4 2 にて
5 重力加速度を減じることにより、全体重心加速度の推定値を求める。以降、このようにして求めた全体重心加速度を動力的推定全体重心加速度と呼ぶ。

次いで、第 5 実施形態と同様、ブロック 3 3 0 にて幾何学的推定全体重心位置を求める。

10 次いで、前記動力的推定全体重心加速度を 2 階積分することで動力的推定全体重心位置を求めつつ、幾何学的推定全体重心位置姿勢と慣性航法的推定全体重心位置との差が 0 に収束するように前記動力的全体重心位置を修正する。

より具体的には、図 2 2 に示すように、前制御周期（前回以前の制御
15 周期）に決定した前記動力的推定全体重心位置と前記幾何学的推定全体重心位置との差をブロック 3 4 3 で求め、この差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン K_c を乗じた値と、該差にゲイン K_d を乗じた値の和をブロック 3 4 4 で求める。つまり、上記差からフィードバック制御則としての PD 制御則より、上記和を求める。
20 そして、ブロック 3 4 2 の出力である前記動力的推定全体重心加速度から上記和（ブロック 3 4 4 の出力）をブロック 3 4 5 で減じた値をブロック 3 4 6 にて 2 階積分することにより、新たな動力的推定全体重心位置 $XG_{inertestm}$ を決定する。

最後に、前記動力的推定全体重心位置、関節角検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を基に、ブロック 3 4
25 7 にて、グローバル座標系における上体位置を推定する。

以上が、第6実施形態におけるS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置および上体位置を推定する手段である。

第6実施形態においても、空中期であるか否かを判定して、空中期である場合には、床反力センサ検出値を用いずに、全体重心は放物運動を行うという想定のもとで、前記動力学的推定全体重心加速度を決定しても良い。

ロボットが環境から外力を受けないことが明白な場合には、空中期においては、全体重心は放物運動を行うので、これにより、より一層精度良く全体重心位置を推定することができる。

10 なお、空中期であるか否かは、目標歩容の時期（フェーズ）、目標歩容の床反力あるいは、床反力検出値の少なくともいずれかを用いて判定すれば良い。

特に、全体重心位置の推定精度を極力高くしたい場合には、床反力検出値が所定の値以下であるか否かによって空中期であるか否かを判定す
15 れば良い。

なお、以上説明した第6実施形態は、本発明の第1～第6発明、第8、第9発明、並びに、第23～第30発明に対応するものである。

前記各実施形態で決定した姿勢回転中心について、以下に補足する。
いずれかの脚体2が接地し、十分大きい床反力が発生している時期において、いわゆる支持多角形（接地面を含む最小凸多角形、ZMP存在
20 可能範囲あるいは全床反力中心点存在可能範囲）の中に、姿勢回転中心があると考えられる。

この理由を以下に述べると、姿勢回転中心が支持多角形の外にあると、足平22の底面のあらゆる点が床に対して相対移動していることになる
25 ので、足平22の底面と床との間のあらゆる接触点には、動摩擦が働く。動摩擦は、ロボット1が床反力を制御しようとして、脚体2を動かして

も、一定値のままで、任意の値に制御することはできない。すなわち、氷の上でつるつる滑ってうまく歩けない状態と同じである。したがって、ロボット1が床反力を制御しつつ安定に移動している場合には、足平22の底面と床との間のある領域においては、滑りが生じないで静摩擦が作用していると考えられる。すなわち、支持多角形の中に、姿勢回転中心
5 があると考えられる。補足すると、ロボット1の足平22が完全剛体であるならば、姿勢回転中心点以外のあらゆる接触点は滑りが生じるが、実際の足平22の底面は、ゴムなどの弾性体でできているので、姿勢回転中心の近傍でも滑りは生じないと考えられる。

- 10 また、空中期においては、ロボットは、重心を中心として振動運動をすると考えられる。

また、上記以外の時期、すなわちいずれかの脚体2が接地しているが、床反力が十分に発生していない時期においては、運動の連続性を考慮すると、姿勢回転中心は、支持多角形と全体重心位置（あるいは上体代表
15 点位置）との間に存在すると考えられる。

以上の考察から、第3実施形態以降で実行されるS2204（図14参照）において決定する姿勢回転中心としては、より一般的には、以下のいずれかであることが望ましい。

現在時刻 t における

- 20 a) 目標ZMP、
b) 実ZMP（すなわち、実床反力中心点、あるいは床反力の圧力中心点）、
c) 支持脚座標系の所定の点、例えば原点
d) 全体重心点、
25 e) 上体代表点
f) 上記のいずれかの複数の点の内分点

いずれかの脚が接地し、十分大きい床反力が発生している時期においては、姿勢回転中心は、支持多角形の中に設定するのが良い。具体的には、上記 a)および b)に設定すれば良い。あるいは、姿勢回転中心が支持多角形の中に含まれるように、上記 c)における所定の点を設定すれば良い。例えば支持脚座標系の原点（通常、足首関節の下）に設定すれば良い。

空中期においては、姿勢回転中心は、上記 d)のように設定するのが良いが、全体重心位置は上体代表点位置の近くに存在するので、上記 e)のように設定しても良い。

10 上記以外の時期、すなわちいずれかの脚体 2 が接地しているが、床反力が十分に発生していない時期においては、上記 f)のように設定するのが良い。

さらに、全期間での運動の連続性を考慮すると、姿勢回転中心点は、連続的に変化するように設定するのが望ましい。

15 いずれにしても、概ねすべての各瞬間において、ロボット 1 の全体を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

同様に、第 1 実施形態の図 10 の S 2 0 0 6 および第 2 実施例の図 12 の S 2 1 0 6 において決定する姿勢回転中心としては、より一般的に
20 は、以下のいずれかであることが望ましい。

a)遊脚着地時刻 n の、あるいは 1 歩の間の平均の目標 Z M P 位置

b)遊脚着地時刻 n の、あるいは 1 歩の間の平均の実 Z M P（すなわち、実床反力中心点、あるいは床反力の圧力中心点）位置

c)支持脚座標系の所定の点、例えば原点

25 d)遊脚着地時刻 n の、あるいは 1 歩の間の平均の全体重心点位置

e)遊脚着地時刻 n の、あるいは 1 歩の間の平均の上体代表点位置

f)上記のいずれかの複数の点の内分点

いずれにしても、ロボット1の全体が最新の1歩の間の運動によって掃引した領域を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

5 または、ある瞬間における、例えば着地瞬間における、ロボット1の全体を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

第4実施形態においては、慣性航法的推定上体位置を幾何学的推定上体位置で補正する際に、慣性航法的推定上体位置を算出するための積分器（図17のブロック320）に補正入力（図17のブロック318の出力）を付加的に加えていた。したがって、慣性航法的推定上体位置は、制御周期毎に修正された。これに対し、ある所定の期間、補正を加えずに慣性航法的推定上体位置を決定し、次の式45により、慣性航法的推定上体位置と幾何学的推定上体位置とを内挿した推定上体位置である内挿的推定上体位置を求めて、これを最終的に決定した推定上体位置として出力するようにしても良い。

内挿的推定上体位置

20
$$= \alpha * \text{慣性航法的推定上体位置} + (1 - \alpha) * \text{幾何学的推定上体位置}$$

…式45

ただし、 α は加重平均の重みであり、前記所定の期間の間に1から徐々に0に変化する。

25 α が0になったときに、幾何学的推定上体位置を慣性航法的推定上体位置に代入（上書き）し、 α を1に戻す。

また、所定の期間は、空中期以外の期間に設定する。

第5および6実施形態においても、第4実施形態と同様にして、慣性航法的あるいは動力学的推定全体重心位置と幾何学的推定全体重心位置とを内挿した推定全体重心位置である内挿的推定全体重心位置を決定する
5 ようにしても良い。

第4～第6実施形態において、補正される慣性航法的推定上体位置もしくは慣性航法的推定重心位置もしくは動力学的推定重心位置は鉛直位置成分（離床面に対する）のみであっても良い。あるいは水平成分のみ補正しても良い。

10 補正ゲイン K_a , K_b , K_c もしくは K_d の値を、定常カルマンフィルタあるいは非定常カルマンフィルタの手法を用いて決定しても良い。ただし、本実施形態のロボット1においては、特に移動中においては、システム雑音（外乱）と観測雑音の性質が、カルマンフィルタの前提条件を十分に満足してはいないので、十分な効果を生むとは限らない。

15 加速度センサおよびまたはジャイロセンサは、上体3以外の部位、例えば頭部4に搭載（内蔵）されていても良い。さらに頭部4と上体3との間に首関節がある場合、首関節の変位指令（目標変位）または変位検出値を基に、加速度センサおよびまたはジャイロセンサの検出値をキネマティクス演算によって、上体代表点の加速度と角加速度とに変換し
20 えすれば、残りは、前記各実施形態と同様に自己位置推定を行えば良い。

推定位置姿勢の成分（位置鉛直成分、位置水平成分、鉛直軸まわりの向き成分、傾き成分）によって、第1実施形態から第6実施形態までの自己位置推定処理のうちの異なる処理を選択しても良い。例えば、上体3の水平位置に関しては、第3実施形態の自己位置推定処理に従って幾
25 何学的に推定し、鉛直位置に関しては、第4実施形態の自己位置推定処理に従って慣性航法的推定上体鉛直位置を幾何学的推定上体鉛直位置に

より補正しても良い。

推定支持脚座標系および幾何学的推定上体位置を決定する際に関節変位を用いる実施形態においては、その関節変位を、目標歩容の関節変位または、関節変位検出値としたが、これらの重み付き平均でも良い。また、このときの重みは周波数特性を持たせても良い。

推定支持脚座標系や推定上体位置姿勢など、推定される位置姿勢を表現する時には、前記各実施形態のごとくグローバル座標系を基準として表現する代わりに、目標位置姿勢からの擾動分で表現しても良い。

第4実施形態以降においては、前記図17に示すごとく、グローバル座標系における推定重力加速度を基に、グローバル座標系における推定上体姿勢誤差角度を求め、グローバル座標系における推定上体姿勢誤差角度にゲイン K_b を乗じた値を、グローバル上体角速度 ω_{gl} を積分する積分器（図17のブロック310）に付加的に入力することによって、推定上体姿勢を補正していた。すなわち、グローバル座標系において、推定上体姿勢を補正していたが、この代わりに、ジャイロセンサのローカル座標系（上体3に固定された座標系）上で補正しても良い。具体的には、図17において、ゲイン K_b のブロック309と、その出力をグローバル上体角速度 ω_{gl} から減じる加算器（ブロック308）を削除し、積分器 K_a/S （ブロック306）を、 $K_a/S + K_b$ 、すなわち、PI制御則のブロックに変更しても良い。

原理上、このようにローカル座標系で補正しても、ヨーレートが高い旋回（その場旋回含む）時に、 K_b によって傾斜ドリフトの収束が悪くなることはない。

推定上体姿勢の補正において、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から幾何学的推定上体加速度を減じることにより推定重力加速度を求める代わりに、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から目

標歩容の上体加速度を減じることにより推定重力加速度を求めるようにしても良い。

実際には、目標歩容通りに運動しようとしているロボットには、姿勢回転中心まわりの姿勢回転が発生しているので、姿勢回転によって、上
5 体加速度は、目標歩容からずれる。しかし、姿勢回転の内の姿勢傾斜は、前後左右に振動しても平均的には、0である。また、通常、姿勢回転の内のスピンに関しては、1歩毎にスピンの向きが逆に切り替わるので、平均的には0に近い。したがって、遠心力など、姿勢回転の回転方向によらずほぼ同一方向に作用する力を除けば、姿勢回転による上体加速度
10 への影響は、正の影響と負の影響とが相殺し、長期的には、ほぼ0になる。なお、ここで、「長期」とは、推定上体姿勢の補正の整定時間以上の時間を指す。

よって、推定上体姿勢の補正のために、幾何学的推定上体加速度を用いる代わりに、目標歩容の上体加速度を用いても、補正の効果が大きく
15 低下することはない。

第1から第3実施形態においても、第4実施形態のように、幾何学的推定上体位置姿勢運動から算出される運動加速度と、加速度センサの検
出値を用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正するようにしても
良い。また、第1から第3実施形態においても、第4実施形態のように、
20 推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正するようにしても良い。
また、第1から第3実施形態においても、第4実施形態のように、ヨー
レート補正を行っても良い。

次に本発明の第7実施形態を図23～図25を参照して説明する。図
23および図24は、第7実施形態におけるロボット1の頭部4の内部
25 構造を表す。図23は正面視、図24は側面視の図である。頭部4は、
パン・チルト方向に回転する首関節120を介して、上体3の上部に連

接されている。

首関節 1 2 0 にも、他の関節と同じく、エンコーダ（関節変位検出器）付きのモータ 1 2 1, 1 2 2 と減速機 1 2 3, 1 2 4 とを備え、図示を省略するモータ制御装置を介して前記制御ユニット 6 0 からの関節
5 変位指令に追従するように制御される。

頭部 4 には、環境認識手段としての左右 2 台のビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 が備えられ、対象物を立体視することができるようになっている。前記図 5 では図示を省略しているが、ビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 の出力（撮像情報）は、制御ユニット 6 0 に入力され、該制御ユニット 6 0
10 で撮像情報内の対象物までの距離等が認識される。

左右 2 台のビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 の代わりに、以下のような環境認識手段を備えても良い。

- a) 3 台以上のカメラによる立体視
- b) 1 台カメラで対象物の多点を認識し、三角測量の原理で距離を推定す
15 る手段
- c) レンジファインダ、スキャン式レーザー距離計等の非接触多点距離計測装置

第 7 実施形態は、上記した頭部 4 の構成の他、図 9 の S 0 1 6 の自己位置推定処理が第 4 実施形態と相違している。その他の構成及び処理は、
20 第 4 実施形態と同じである。なお、その他の構成及び処理は、第 4 実施形態の代わりに、例えば第 5 または第 6 実施形態と同じにしても良い。

図 2 5 は第 7 実施形態における図 9 の S 0 1 6 の自己位置推定処理を示すフローチャートである。第 7 実施形態においては、第 4 実施形態における推定自己位置姿勢を用いて、対象物を前記ビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 の画像（以下、単にカメラ画像という）の中央あるいは適切な位置に捉えるように、首関節 1 2 0 を制御して、ビデオカメラ 1 2 5, 1
25

25 の方向を制御する注視制御を行う。また、ビデオカメラ 125, 125 (あるいはレンジファインダ等) により、あらかじめグローバル座標系における正確な位置を記憶しているランドマーク等を認識して、前記推定自己位置姿勢を補正する。また、ビデオカメラ 125, 125 により、ある対象物を認識して、ビデオカメラ 125, 125 によって得た情報と前記推定自己位置姿勢から、対象物のグローバル座標系における位置姿勢または形状を認識する。

なお、第 4 実施形態における推定自己位置姿勢に代わりに、第 3、第 5 および第 6 のいずれかの実施形態の推定自己位置姿勢を用いても良い。

10 以下に、図 25 を用いて、第 7 実施形態のその動作の詳細を説明する。

まず、S 2500 から S 2504 まで、第 4 実施形態の S 2300 から S 2304 と同様の処理を行い、推定上体姿勢、推定支持脚座標系の位置姿勢、幾何学的推定上体位置および慣性航法の上体位置を決定する。

次いで S 2506 に進み、注視制御をすべきか否かを判断する。具体的には、現在の推定上体姿勢及び慣性航法の上体位置、並びにロボット 15 1 の目標経路および地図情報を基に、注視制御をすべきか否かを判断し、また、注視制御する場合には、いずれの対象物を注視するかを決定する。具体的には、地図情報に、各対象物に対して、その対象物を観測でき、かつロボット 1 と対象物の相対位置関係が測定できる領域（以降、観測可能領域と呼ぶ）が記述してある。そして、現在の推定上体姿勢及び慣性航法の上体位置と今後の目標経路とに基づき、現在および今後の所定の期間、いずれかの観測可能領域にいるか否かを予想し、しばらくの間、観測可能領域にいると予想される場合には、注視制御をすべきと判断する。

25 注視すべき対象物の指定を、あらかじめ、ロボット 1 の移動制御部（図 6 に示した部分）の上階層に位置するロボット 1 の行動計画部（図

示しない)が、移動経路に応じて決定するか、あるいは、オペレータがマンマシンインターフェースを介して指定しておいても良い。

5 なお、地図情報は、ランドマーク、障害物、出発地、目的地、移動可能領域、道などに関する、位置、形状特徴および観測可能領域などの情報であり、移動前に、あらかじめメモリに記憶されているものとする。

次いでS 2 5 0 8に進み、前記注視すべき対象物の地図上の位置と前記推定上体位置姿勢との相対関係を求める。

次いでS 2 5 1 0に進み、前記相対関係から、カメラ画像の中央に対象物が映るように目標首関節変位をキネマティクス演算により決定する。

10 次いでS 2 5 1 2に進み、目標首関節変位に追従するように、首関節モータ1 2 1, 1 2 2を制御する。具体的には、首関節モータ1 2 1, 1 2 2のモータ制御装置(モータドライバ)に対して目標首関節変位を制御ユニット6 0から出力する。そして、このとき首関節モータ1 2 1, 1 2 2のモータ制御装置(モータドライバ)が、目標首関節変位に首関
15 節変位検出値を追従させるように首関節モータ1 2 1, 1 2 2の電流を制御する。

次いでS 2 5 1 4に進み、対象物がランドマークであるか否かを判定する。具体的には、検索した対象物の属性の情報からランドマークであるか否かを判定する。

20 S 2 5 1 4において肯定される場合には、S 2 5 1 6に進み、カメラ画像、地図情報、および推定上体位置姿勢、首関節変位から、幾何学演算によって、現在の実際のロボット1の支持脚足平位置姿勢に対応する支持脚座標系(以降、視覚推定支持脚座標系と呼ぶ)のグローバル座標系における位置姿勢を推定する。

25 S 2 5 1 6の後、さらにS 2 5 1 8に進み、前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢との差が0に収束するよう

に、推定支持脚座標系の位置姿勢を修正する。

S 2 5 1 8 の処理をより詳細に説明すると、まず前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢との差を求める。次いで、この差と、ある所定のゲイン K_e との積を求め、該積を推定支持脚座標系の位置姿勢に加えた位置姿勢を新たな推定支持脚座標系の位置姿勢とする。

すなわち、次の式 4 6 によって新たな推定支持脚座標系を決定する。言い換えると、前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢との内挿（すなわち内分あるいは重み付き平均）によって、新たな推定支持脚座標系の位置姿勢を決定する。

新たな推定支持脚座標系
= 推定支持脚座標系の位置姿勢
+ $K_e * (\text{視覚推定支持脚座標系の位置姿勢} - \text{推定支持脚座標系の位置姿勢})$

…式 4 6

ゲイン K_e は、各推定値の確からしさを基に、決定される新たな推定支持脚座標系が、真値として最も確率が高くなる値になるように決定しても良い。

S 2 5 1 4 において否定される場合には、S 2 5 2 0 に進み、カメラ画像、地図情報、および推定上体位置姿勢、首関節変位から対象物形状・位置を算出する。以降、前記算出された対象物形状・位置を視覚推定対象物形状・位置と呼ぶ。

S 2 5 2 0 の後、S 2 5 2 2 に進み、視覚推定対象物形状・位置により、地図情報の対象物形状・位置を修正する。具体的には、視覚推定対

象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置との差が0に収束するように地図情報の対象物形状・位置を修正する。

より具体的には、まず前記視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置との差を求める。次いで、その差と、ある所定のゲイン

5 Kf との積を求め、この積を地図情報の対象物形状・位置に加えた形状・位置を新たな地図情報の対象物形状・位置とする。

すなわち、次の式47によって新たな地図情報の対象物形状・位置を決定する。言い換えると、前記視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の内挿（すなわち内分あるいは重み付き平均）によっ

10 て、新たな地図情報の対象物形状・位置を決定する。

$$\begin{aligned} & \text{新たな地図情報の対象物形状・位置} \\ & = \text{地図情報の対象物形状・位置} \\ & + Kf * (\text{視覚推定対象物形状・位置} - \text{地図情報の対象物形状・位置}) \end{aligned}$$

…式47

15

S2518またはS2522の処理の完了をもって、S016の自己位置推定処理の完了とする。

視覚推定支持脚座標系の位置は、慣性航法的推定上体位置を基に推定
20 されており、さらに、慣性航法的推定上体位置は、推定支持脚座標系を基に算出される幾何学的推定上体位置姿勢に収束するように決定されるので、S2518の処理により、推定支持脚座標系の位置姿勢を変更すると、視覚推定支持脚座標系の位置も遅れて変更される。したがって、S2518の処理においては、収束を速めようとしてゲイン Ke を大き
25 くし過ぎると発振する恐れがある。ゲイン Ke を大きくしても、発振しにくくするためには、視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座

標系の位置姿勢との差に応じて推定支持脚座標系の位置姿勢を修正すると共に、直接的に慣性航法的推定上体位置も修正して、視覚推定支持脚座標系の位置の変更の遅れを短くすれば良い。

推定上体位置姿勢と視覚推定上体位置姿勢の差、または、視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の差がある所定の許容値を越えているならば、誤認識と判断して、その値による推定上体位置姿勢または地図情報の対象物形状・位置の修正をしないようにしても良い。

なお、以上説明した第7実施形態は、本発明の第31～第37発明に対応するものである。

10 以上説明した如く、第1実施形態においては、実際のロボット1の挙動を、ロボット1の運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボット1が、1歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差（あるいは前記差の鉛直成分）の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向きとを、1歩毎（着地毎）に推定するようにしたので、着地点の位置と向きを精度良く推定することができる。特に、加速度が水平方向や鉛直方向に激しく変動している状態、走行時の空中期などのように全脚体2、2が床から離れている状態、または足平22と床との間の回転滑りなどによってロボット1の全体に姿勢回転（またはスピン）が生じている状態においても、着地点の位置と向きを精度良く推定することができる。

25 第2実施形態においては、実際のロボット1の挙動を、ロボット1の運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動

しているロボットが、1歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向きを、1歩毎（着地毎）に推定するようにしたので、着地点の位置と向きをより一層精度良く推定することができる。

第3実施形態においては、実際のロボット1の挙動を、ロボット1の運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボット1が、各瞬間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、すなわち推定上体姿勢変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、新たな推定支持脚座標系と推定上体位置姿勢を各瞬間（制御周期毎）に決定（更新）する。また、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向きを、1歩毎（着地毎）に推定したようにしたので、着地点の位置と向きをより一層精度良く推定すると共に、ロボット1の自己位置姿勢を連続的に精度良く推定することができる。

第4実施形態においては、慣性航法によって推定上体位置（慣性航法的推定上体位置）と推定上体姿勢とを求めると共に、第3実施形態によって決定される推定上体位置である幾何学的推定上体位置を用いて慣性航法的な推定上体位置及び推定上体姿勢を補正するようにしたので、ロボット1の自己位置姿勢ならびに着地位置・向き（推定支持脚座標系の位置・向き）をより一層精度良く推定することができる。

第5実施形態においては、第4実施形態において慣性航法的推定上体位置 Xinertestm を決定する代わりに、慣性航法による推定全体重心位置を、制御周期毎に決定するようにしたので、ロボット1の自己位置姿勢ならびに着地位置・向き（推定支持脚座標系の位置・向き）を第4実施形態と同様に、精度良く推定することができる。

第6実施形態においては、第5実施形態において加速度センサ検出値を基に慣性航法的推定全体重心位置を算出する代わりに、床反力センサ検出値を基に動力的推定全体重心位置を算出するようにしたので、ロボット1の自己位置姿勢ならびに着地位置・向き（推定支持脚座標系の位置・向き）を第5実施形態と同様に、精度良く推定することができる。

第7実施形態においては、幾何学自己位置推定演算を用いることによって、あるいは幾何学自己位置推定演算と慣性航法演算を複合的に用いることによって、連続的に（制御周期毎に）推定される自己位置姿勢と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物のグローバル座標系における位置を基に、ロボット1に搭載されたビデオカメラ125、125等の環境認識手段が注視すべき方向を決定しているので、前記対象物を、連続的に前記環境認識手段の画像の中央あるいは適切な位置に捉えることができる。

また、前記環境認識手段が前記対象物を認識する時に、前記環境認識手段によって得た情報と前記推定した自己位置姿勢から、グローバル座標系における対象物の位置姿勢または形状を精度良く認識することができる。

また、さらに、前記対象物の地図上の位置・形状を連続する複数の画像を基に補正するので、ノイズや誤認識の影響を受けにくい。

また、前記環境認識手段が、ランドマーク等あらかじめ正確な位置情

報を記憶している対象物の位置情報と、前記環境認識手段によって得た前記対象物に対するロボット1の相対位置情報に基づき、幾何学自己位置推定演算を用いることによって推定した自己位置姿勢、あるいは幾何学自己位置推定演算と慣性航法演算を複合的に用いることによって推定した自己位置姿勢を補正し、前記自己位置姿勢の推定の精度を高めることができる。

また、さらに、前記自己位置姿勢を連続する複数の画像を基に補正するので、ノイズや誤認識の影響を受けにくい。

また、第4実施形態においては、運動加速度の影響を受けにくく、精度良くロボット1の姿勢傾斜を推定することができる。また、これは他の実施形態にも適用できる。

また、第4実施形態においては、ヨーレートが補正され、より一層精度良くロボット1の姿勢（特に水平方向成分の向き）並びに位置を推定することができる。また、これは他の実施形態にも適用できる。

産業上の利用可能性

以上の如く、本発明は、2足移動ロボット等の脚式移動ロボットの位置を精度よく推定することができる技術を提供するものとして有用である。

請 求 の 範 囲

1. 決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、

5 前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の目標姿勢との差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、

前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段と、

10 前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記ロボットの位置の推定値たる推定位置を決定する位置推定手段とを備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

2. 前記位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第1の座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第2の座標系を求める手段を備え、前記目標歩容の目標運動と前記ロボット

15 ボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第1座標系から見たロボット位置と前記第2座標系から見たロボットの推定位置とが同一になるようにグローバル座標系から見たロボットの推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

20 3. 前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

4. 前記姿勢回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載

25 の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

5. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空

中期を有する歩容であり、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標ZMPのいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定することを特徴とする請求の範囲第1項又は第

5 2項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

6. 前記姿勢回転偏差算出手段は、各瞬間の前記姿勢回転偏差変化量を逐次求める手段であり、前記位置推定手段は、その各瞬間の姿勢回転偏差変化量を用いて前記ロボットの各瞬間の推定位置を逐次決定することを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の脚式移動ロボットの

10 自己位置推定装置。

7. 前記姿勢回転偏差算出手段は、前記ロボットの着地動作により該ロボットの脚体が着地する毎に、前回の脚体の着地から今回の脚体の着地までの期間における姿勢回転偏差変化量である着地間姿勢回転偏差変化量を求める手段であり、前記位置推定手段は、該着地間姿勢回転偏差変

15 化量を用いて各着地毎に前記ロボットの推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

8. 前記位置推定手段が推定するロボットの位置は、該ロボットの着地動作により着地した脚体の接地位置であることを特徴とする請求の範囲

20 第1項又は第2項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

9. 前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段を備え、前記位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、少なくともその推定された変形量を用いて前記ロボットの推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記

25 載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

10. 決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボッ

トにおいて、

前記ロボットに搭載された、並進加速度を検出する加速度センサと、

前記ロボットに搭載された、慣性空間に対する角速度を検出する角速度センサと、

- 5 前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかを基に前記ロボットの所定の部位又は前記ロボットの重心の鉛直位置の幾何学的推定値としての第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段と、

- 10 少なくとも前記加速度センサの検出値と前記角速度センサの検出値とを基に慣性航法によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の鉛直位置の慣性航法的推定値としての第2の推定位置を決定すると共に、少なくとも前記第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に第2の推定位置を補正する慣性航法的推定手段とを備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

- 15 11. 前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

12. 前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段を備え、前記幾何学的推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定した変形量を用いて前記第1の推定位置
20 を決定することを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

13. 前記慣性航法的推定手段は、前記第1の推定位置と第2の推定位置との差を0に近づけるように前記第2の推定位置を補正することを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの自己位置
25 推定装置。

14. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる

空中期を有する歩容であり、前記慣性航法的位置推定手段は、前記空中期では、前記第2の推定位置の補正量を略0にすることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

15 15. 決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、

前記ロボットに搭載された、並進加速度を検出する加速度センサと、

前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の目標姿勢との差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、

10 前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段と、

前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の位置の推定値たる第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段と、

15 少なくとも前記加速度センサの検出値と前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値とを基に、慣性航法によって該所定の部位又は前記ロボットの全体重心の位置の推定値としての第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に第2の推定位置を補正する慣性航法的位置推定手段とを備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

20 16. 前記幾何学的位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第1の座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第2の座標系を求める手段を備え、前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第1座標系から見た前記所
25 定の部位又は全体重心の位置と前記第2座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置とが同一になるようにグローバル座標系

から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

5 17. 前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることを特徴とする請求の範囲第15項又は第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

18. 前記姿勢回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことを特徴とする請求の範囲第15項又は第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

10 19. 前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段を備え、前記幾何学的位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定された変形量を用いて前記第1の推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第15項又は第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

15 20. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であり、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標ZMPのいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定することを特徴とする請求の範囲第15項又は
20 第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

21. 前記慣性航法的位置推定手段は、前記第1の推定位置と第2の推定位置との差を0に近づけるように前記第2の推定位置を補正することを特徴とする請求の範囲第15項又は第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

25 22. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる空中期を有する歩容であり、前記慣性航法的位置推定手段は、前記空中

期では、前記第2の推定位置の補正量を略0にすることを特徴とする請求の範囲第15項又は第16項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

23. 決定された目標歩容に追従するように制御される脚式移動ロボットにおいて、

前記ロボットに作用する床反力を検出する床反力検出手段と、

前記ロボットの所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と前記目標歩容における前記所定の部位の姿勢との差である姿勢回転偏差の時間的変化量を姿勢回転偏差変化量として求める姿勢回転偏差算出手段と、

10 前記姿勢回転偏差の変化の回転中心を決定する回転中心決定手段と、

前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記姿勢回転偏差変化量で回転したと想定して、前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の推定位置としての第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段と、

15 少なくとも前記床反力検出手段の検出値と前記実姿勢の検出値又は推定値とを基に、動力学演算によって前記所定の部位又は前記ロボットの全体重心の推定位置としての第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に第2の推定位置を補正する動力学的位置推定手段とを備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

20 24. 前記幾何学的位置推定手段は、前記目標歩容を記述する座標系である第1の座標系を前記姿勢回転偏差変化量だけ前記回転中心回りに回転させてなる第2の座標系を求める手段を備え、前記目標歩容の目標運動と前記ロボットの関節の変位検出値と該関節の変位目標値とのうちの少なくともいずれかから把握される、前記第1座標系から見た前記所定
25 の部位又は全体重心の位置と前記第2座標系から見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置とが同一になるようにグローバル座標系が

ら見た前記所定の部位又は全体重心の第1の推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第23項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

25. 前記所定の部位は、前記ロボットの上体であることを特徴とする
5 請求の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

26. 前記姿勢回転偏差は、少なくとも前記所定の部位のヨー方向の姿勢回転偏差成分を含むことを特徴とする請求の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

10 27. 前記幾何学的位置推定手段は、前記検出された床反力を基に前記ロボットの変形量を推定し、その推定された変形量を用いて前記第1の推定位置を決定することを特徴とする請求の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

28. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる
15 空中期を有する歩容であり、前記回転中心決定手段は、前記空中期では、前記ロボットの重心に前記回転中心を決定し、該空中期以外の時期では実床反力中心点および目標歩容の目標ZMPのいずれかの点又はその近傍に前記回転中心を決定することを特徴とする請求の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

20 29. 前記動学的位置推定手段は、前記第1の推定位置と第2の推定位置との差を0に近づけるように前記第2の推定位置を補正することを特徴とする請求の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

30. 前記ロボットの目標歩容は、ロボットの全脚体を空中に浮かせる
25 空中期を有する歩容であり、前記動学的位置推定手段は、前記空中期では、前記第2の推定位置の補正量を略0にすることを特徴とする請求

の範囲第23項又は第24項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

31. 少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物に対するロボットの相対位置関係情報を基に、前記所定の部位の実姿勢の検出値又は推定値と、前記ロボットの推定位置とのうちの少なくともいずれかを補正する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。
- 10 32. 少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物とロボットとの相対位置関係情報を基に、前記第1の推定位置と第2の推定位置とのうちの少なくともいずれかを補正する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第10項
- 15 に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。
33. 少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された前記対象物とロボットとの相対位置関係情報を基に、前記第1の推定位置と第2の推定位置と前記所定の部位の実
- 20 姿勢の検出値又は推定値とのうちの少なくともいずれかを補正する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第15項又は第23項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。
34. 少なくとも、前記位置推定手段により推定された前記ロボットの位置と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって
- 25 認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の位置を推定する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第1項

に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

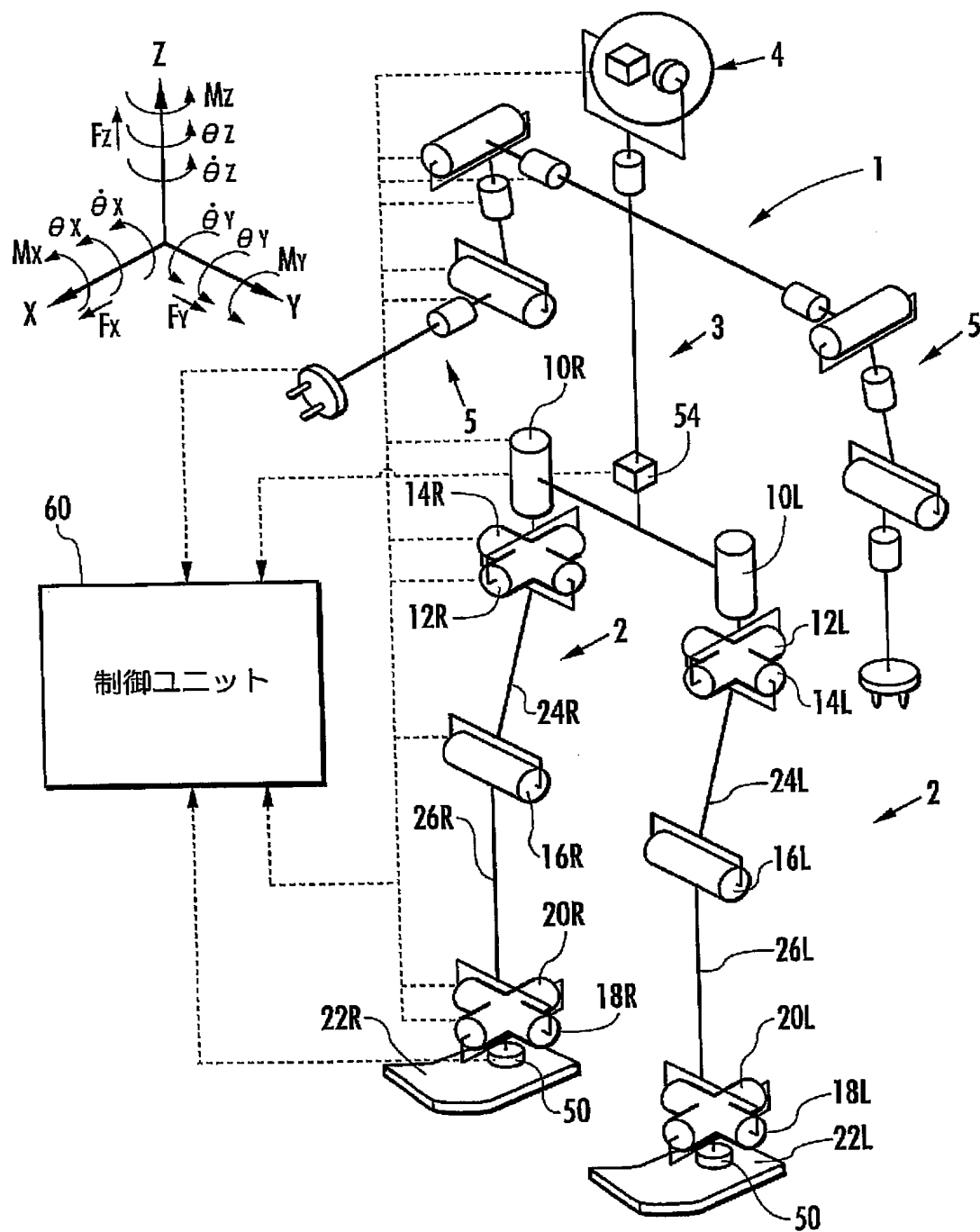
35. 少なくとも、前記第2の推定位置と、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段によって認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の位置を推定する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第10項、第15項および第23項のいずれか1項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

36. 少なくとも前記ロボットの推定位置と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置とを基に、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

37. 少なくとも前記第2の推定位置と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置とを基に、前記ロボットに搭載された撮像装置等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第10項、第15項および第23項のいずれか1項に記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

1 / 23

FIG.1



2 / 23

FIG.2

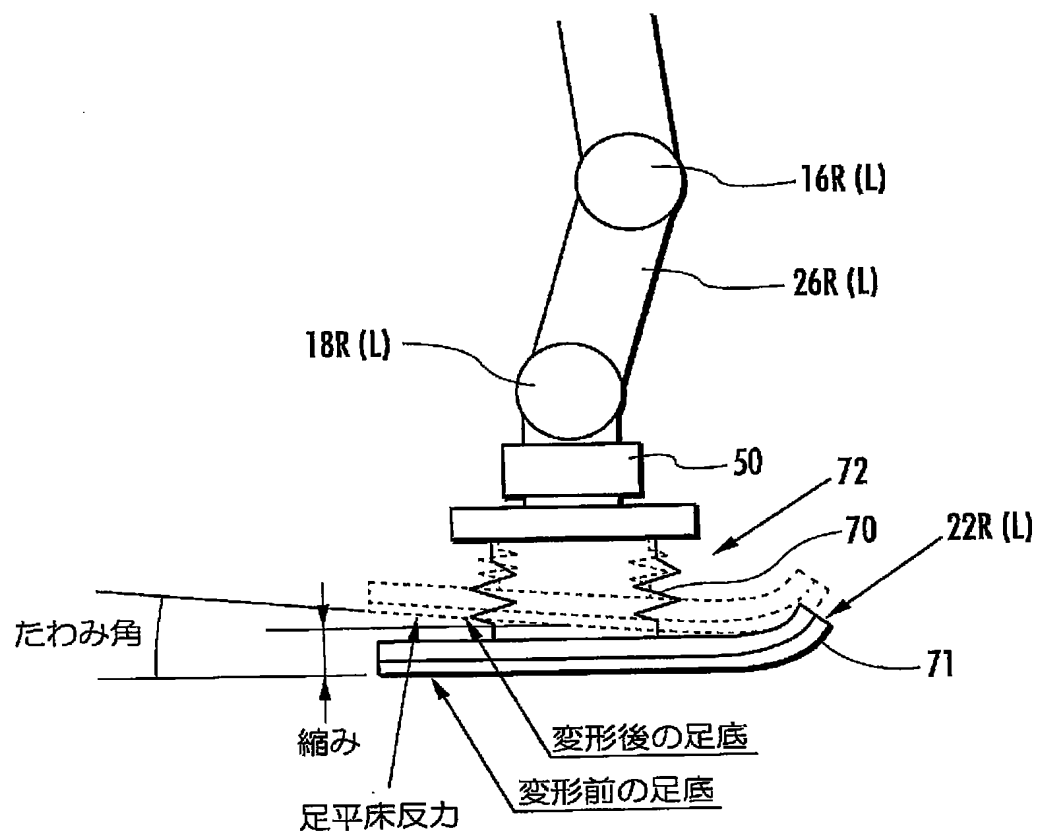


FIG.3

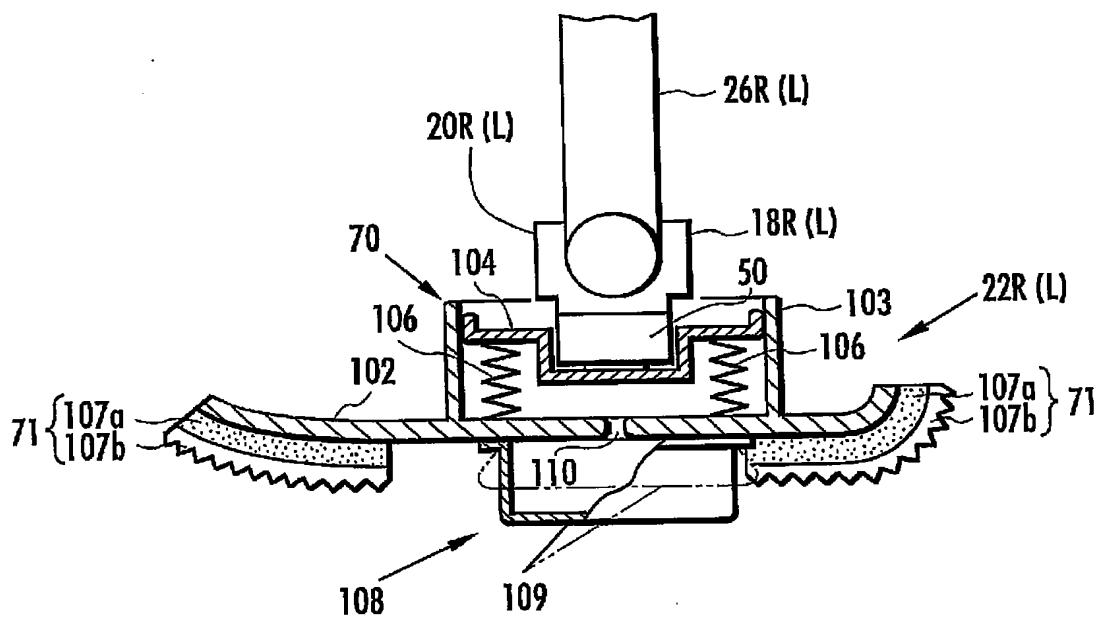
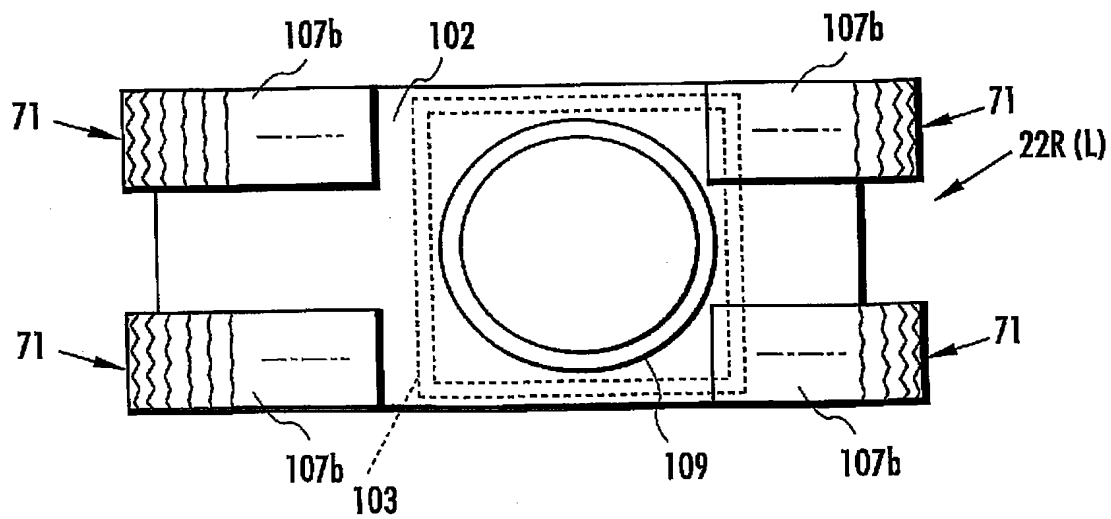


FIG.4



4 / 23

FIG.5

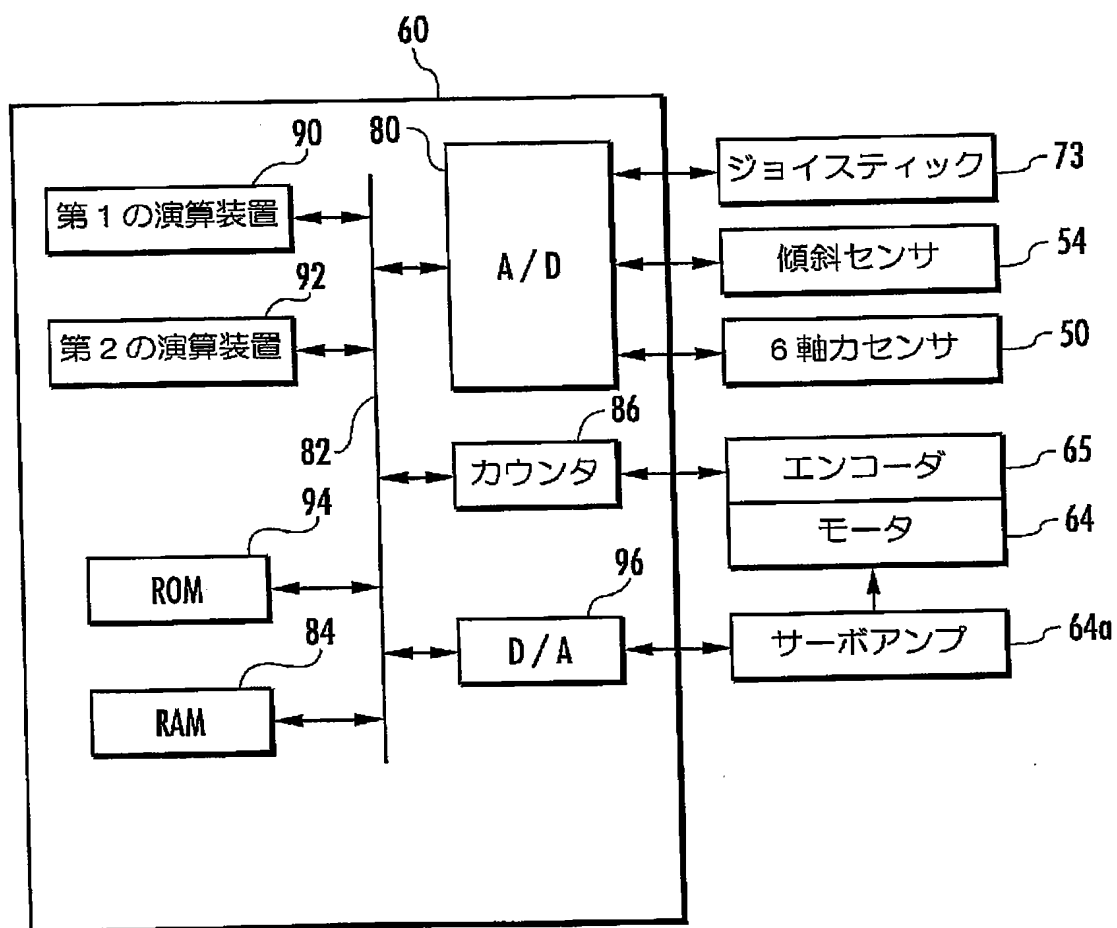
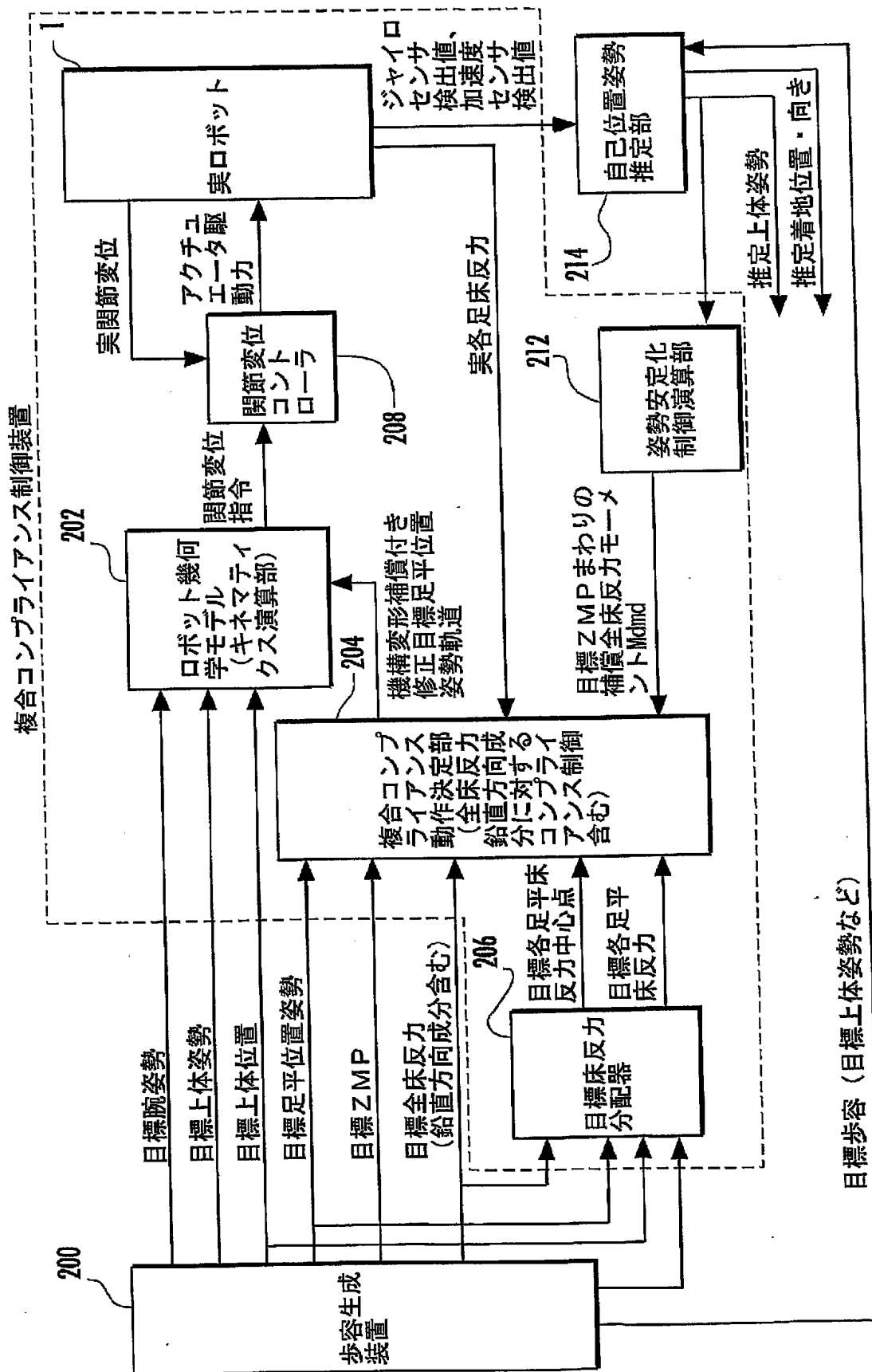
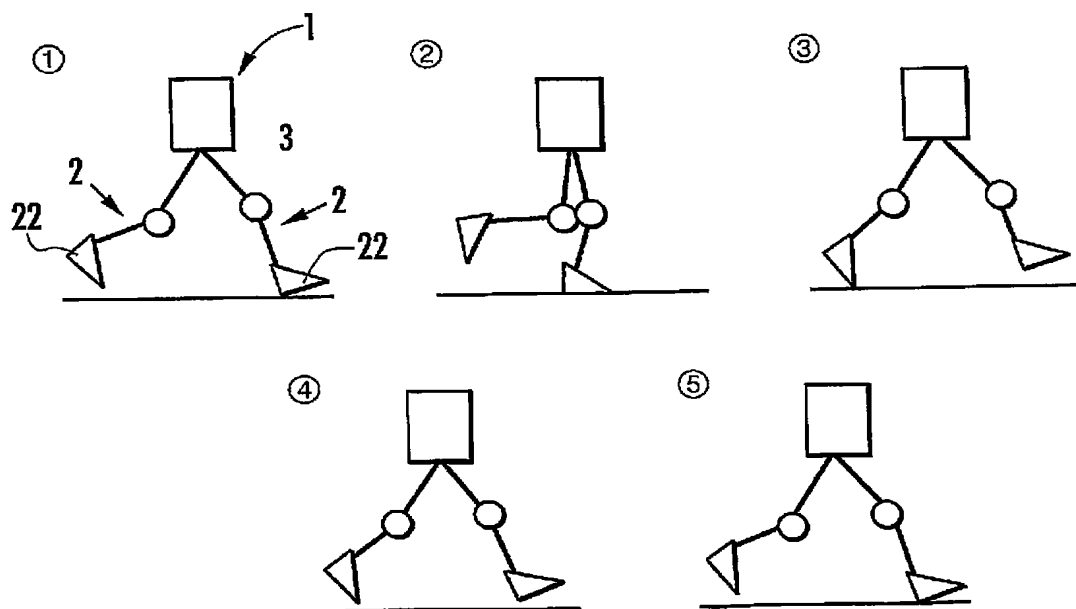


FIG. 6



6 / 23

FIG.7



7 / 23

FIG.8 (a)

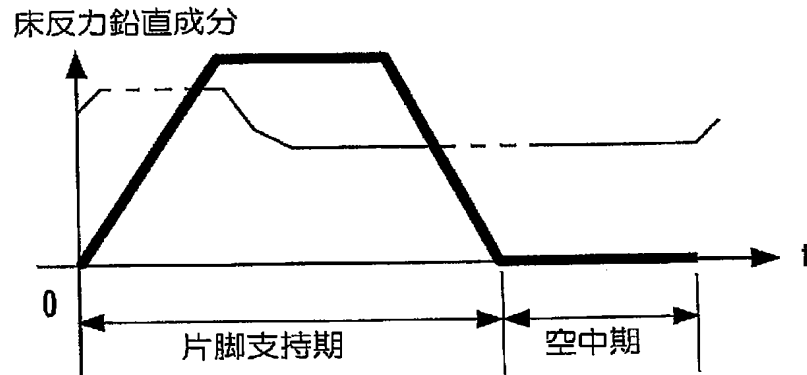


FIG.8 (b)

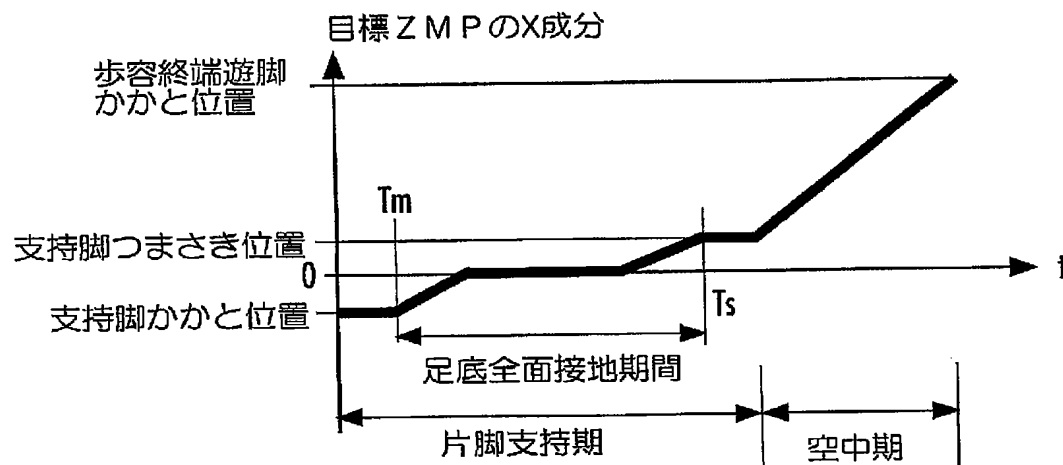
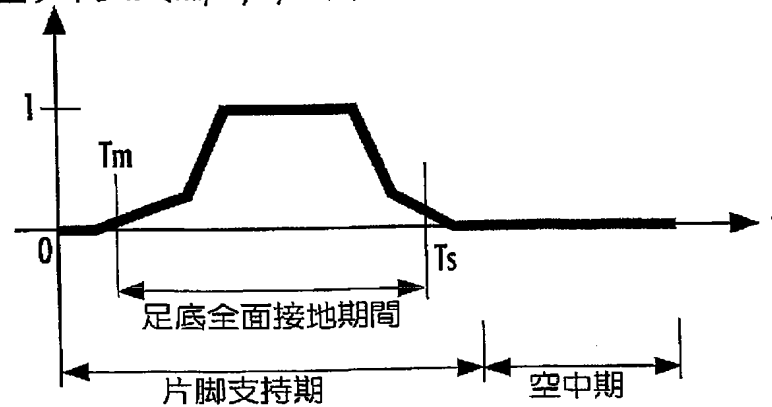
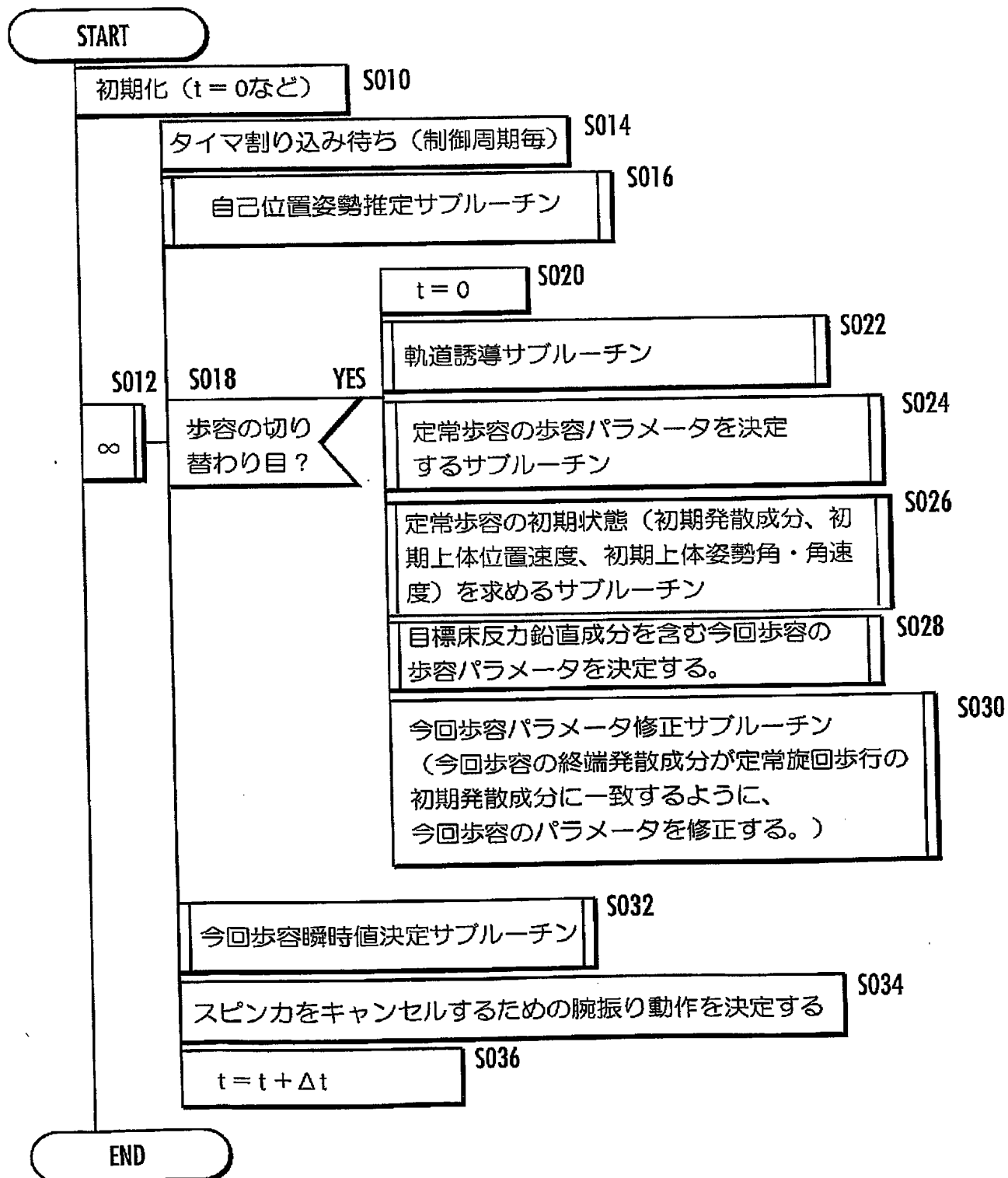


FIG.8 (c)

補正ゲインK (K_a, K_b, K_c, K_d を代表する)

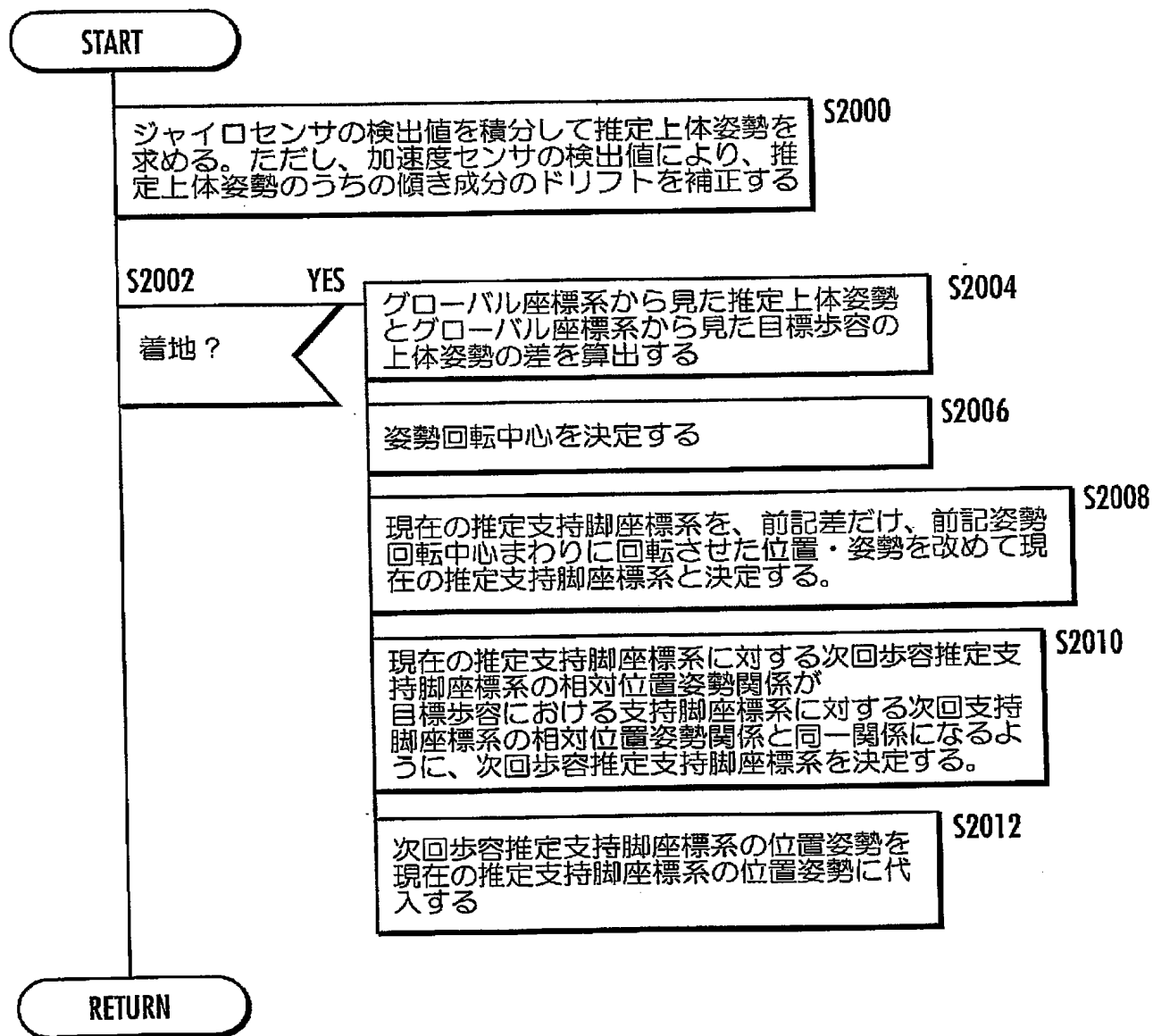
8 / 23

FIG.9



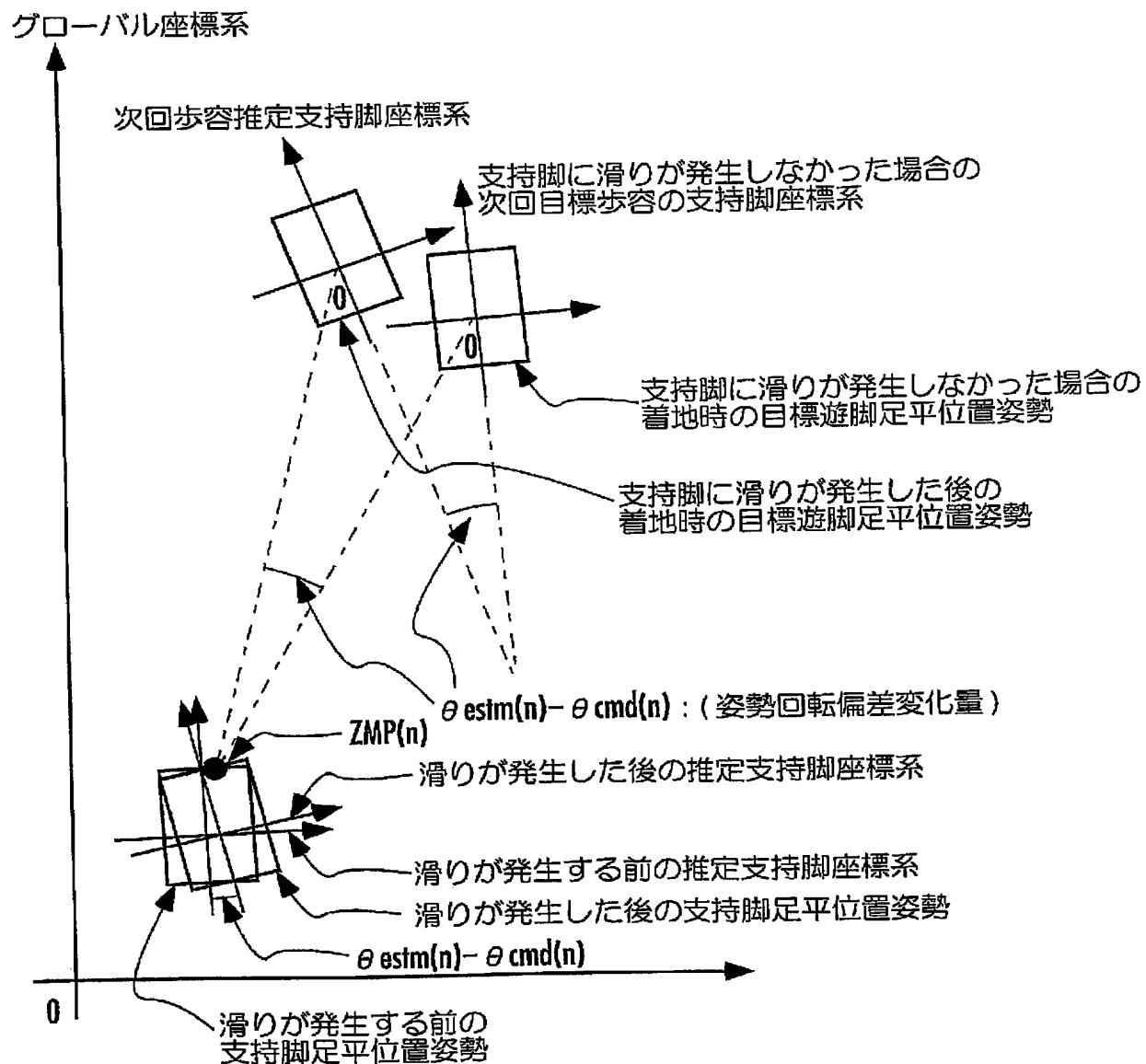
9 / 23

FIG.10



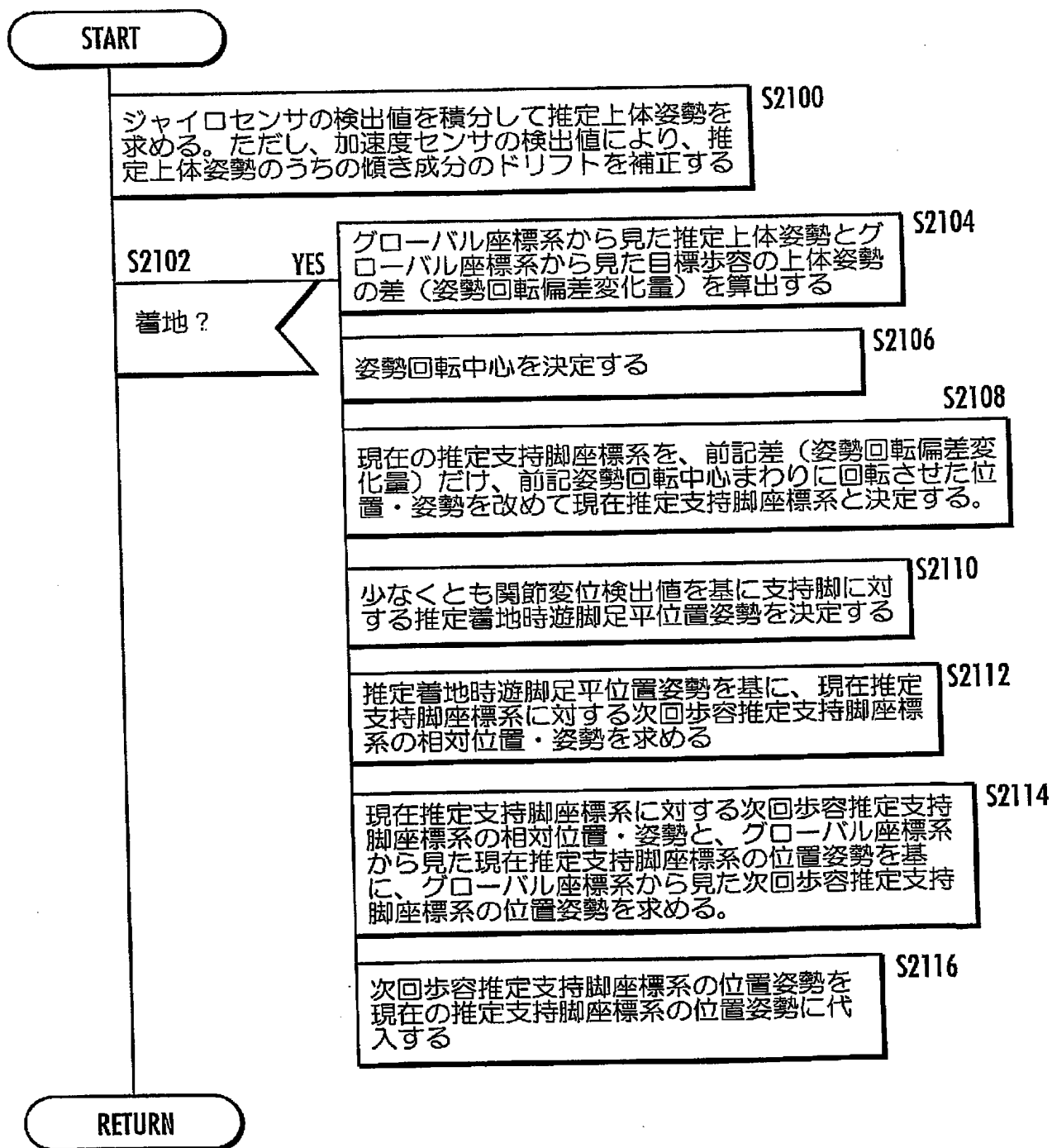
10 / 23

FIG.11



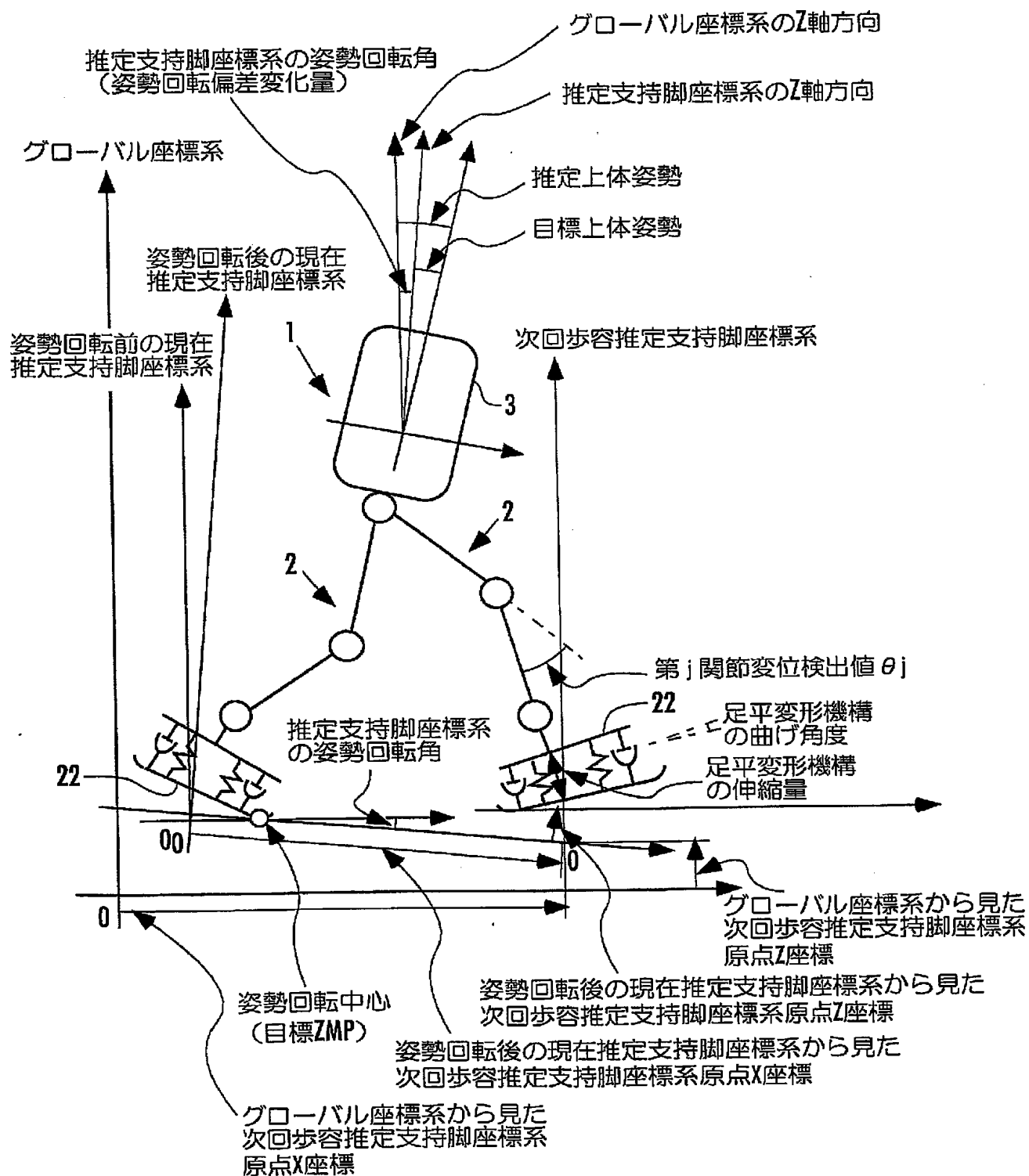
11 / 23

FIG.12



12/23

FIG.13



13 / 23

FIG.14

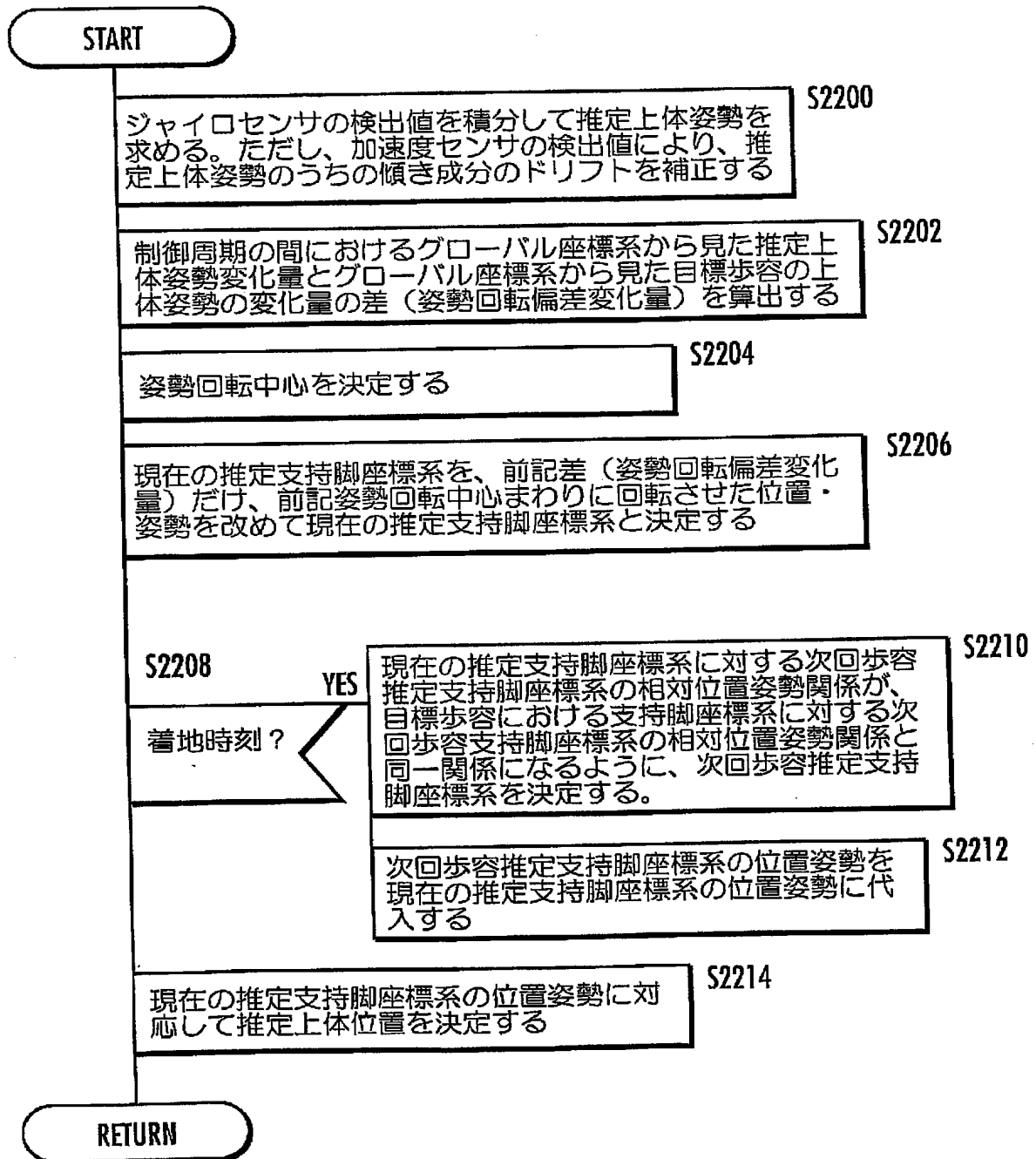
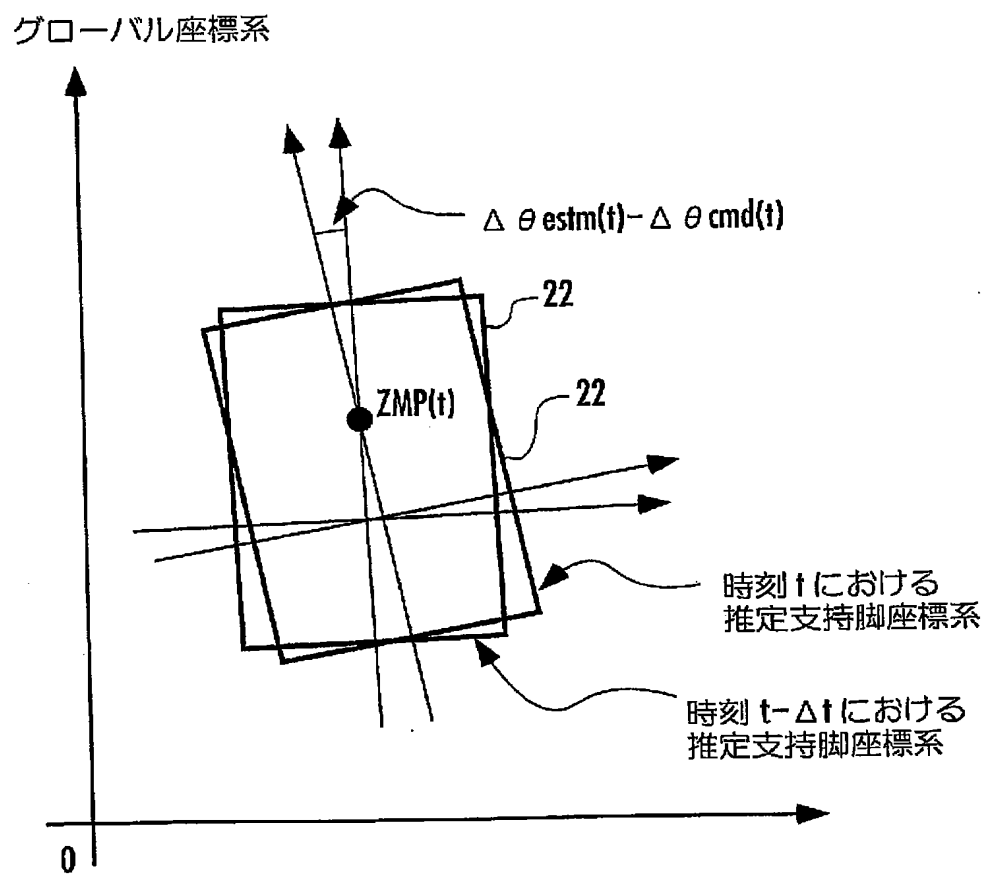
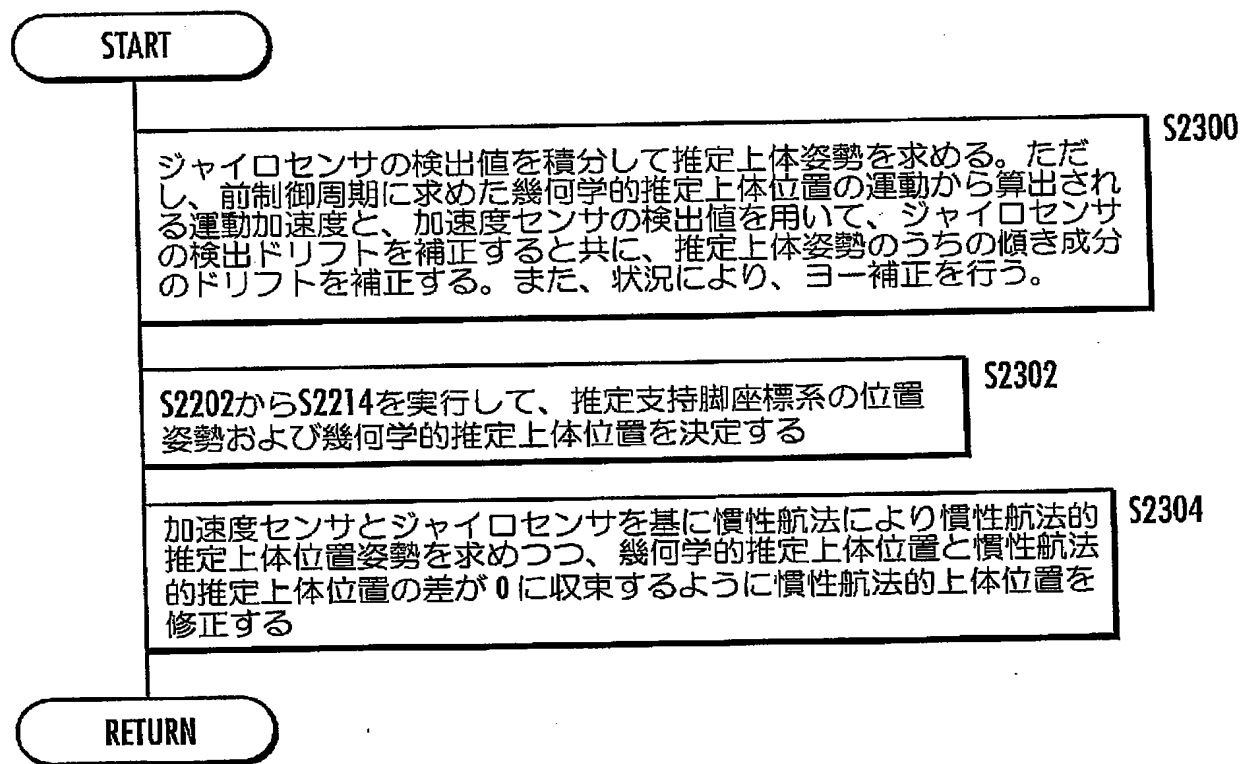


FIG.15



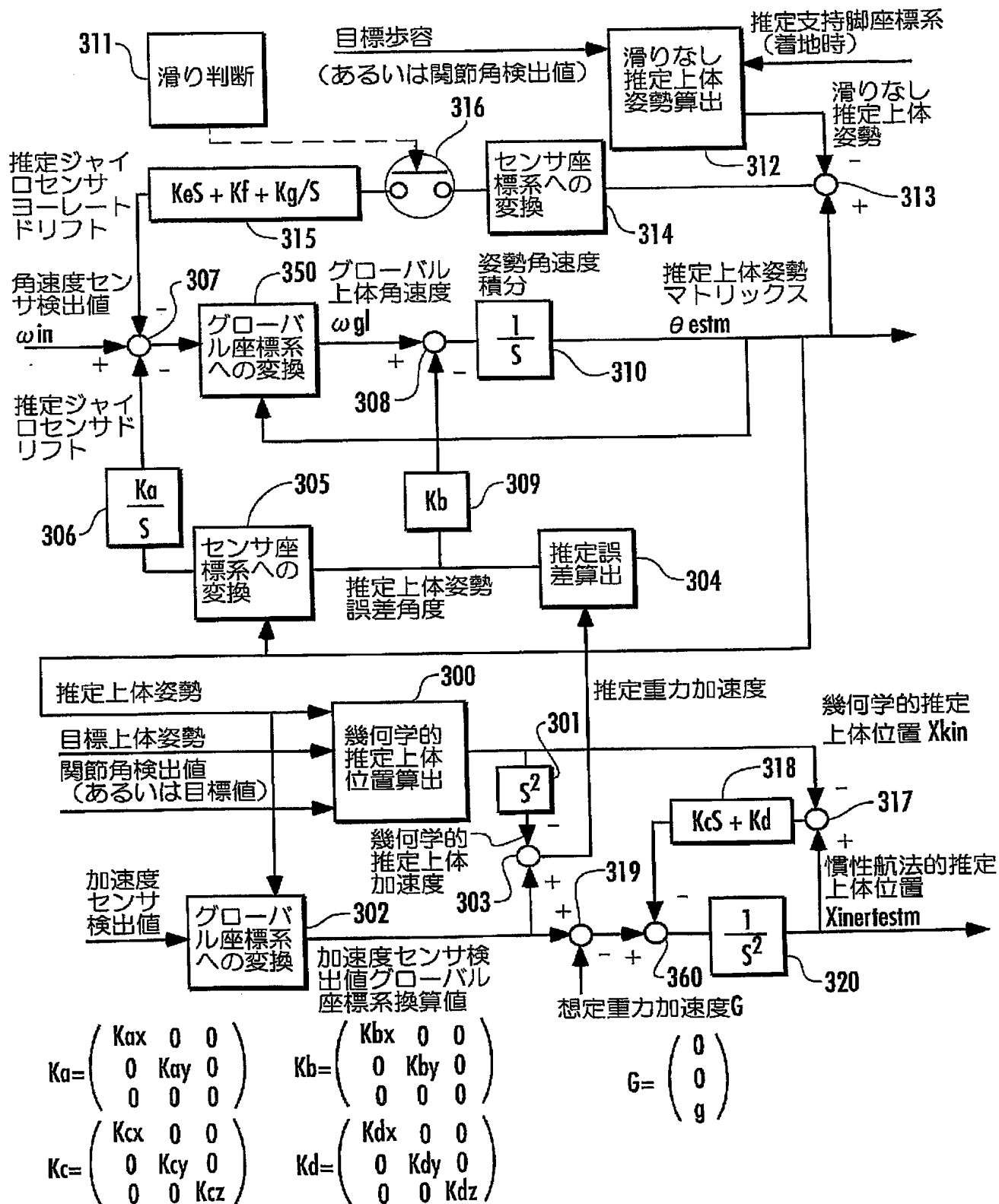
15 / 23

FIG.16



16/23

FIG.17



17 / 23

FIG.18 (a)

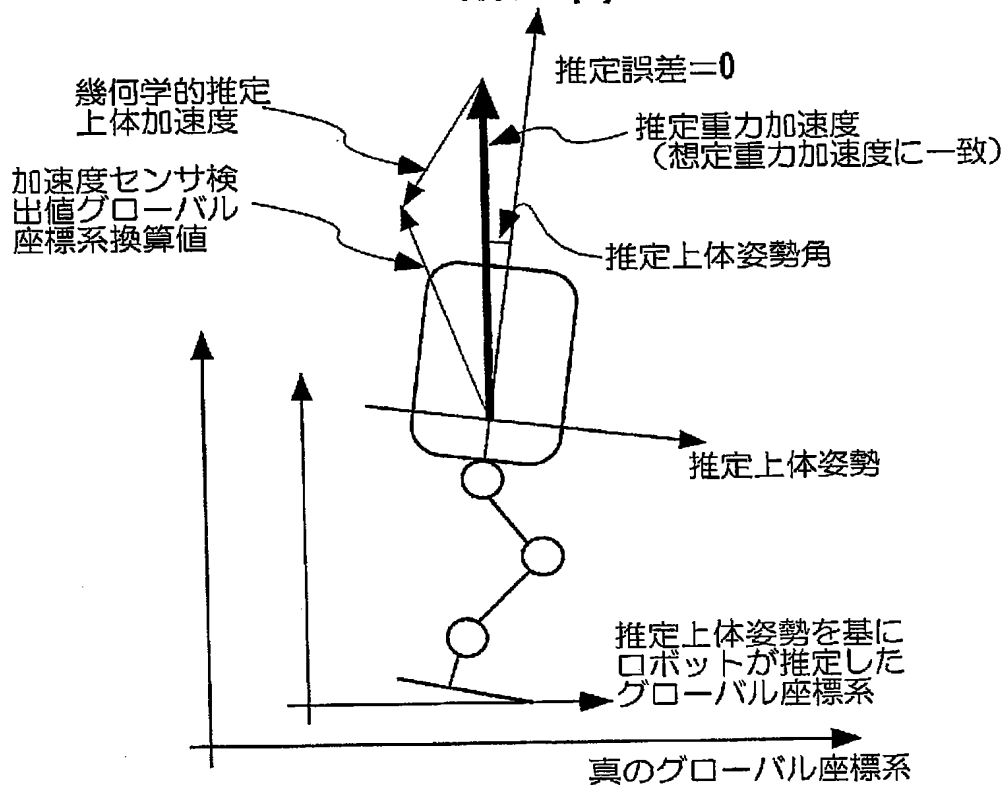
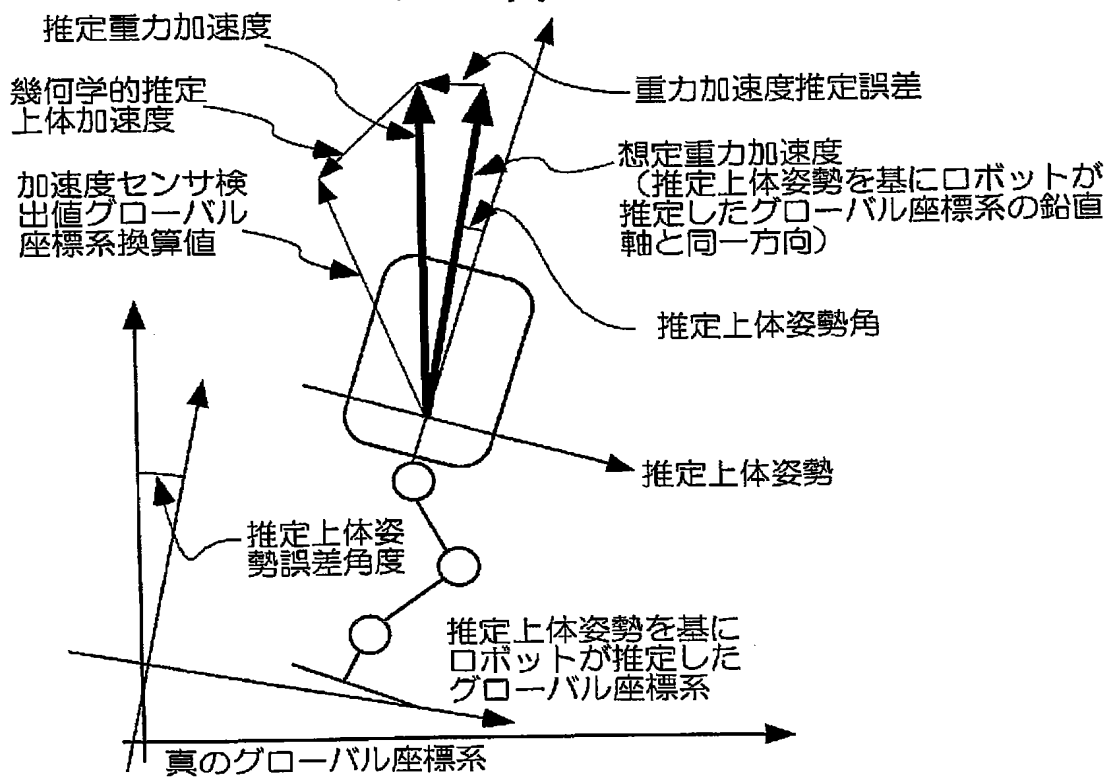
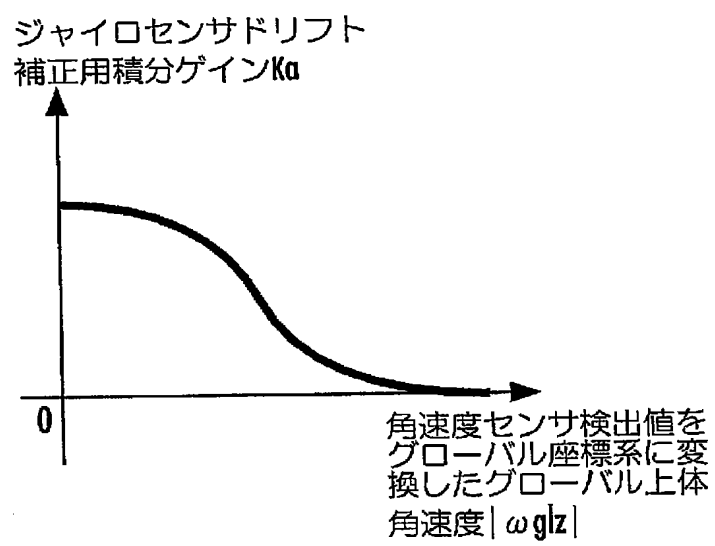


FIG.18 (b)



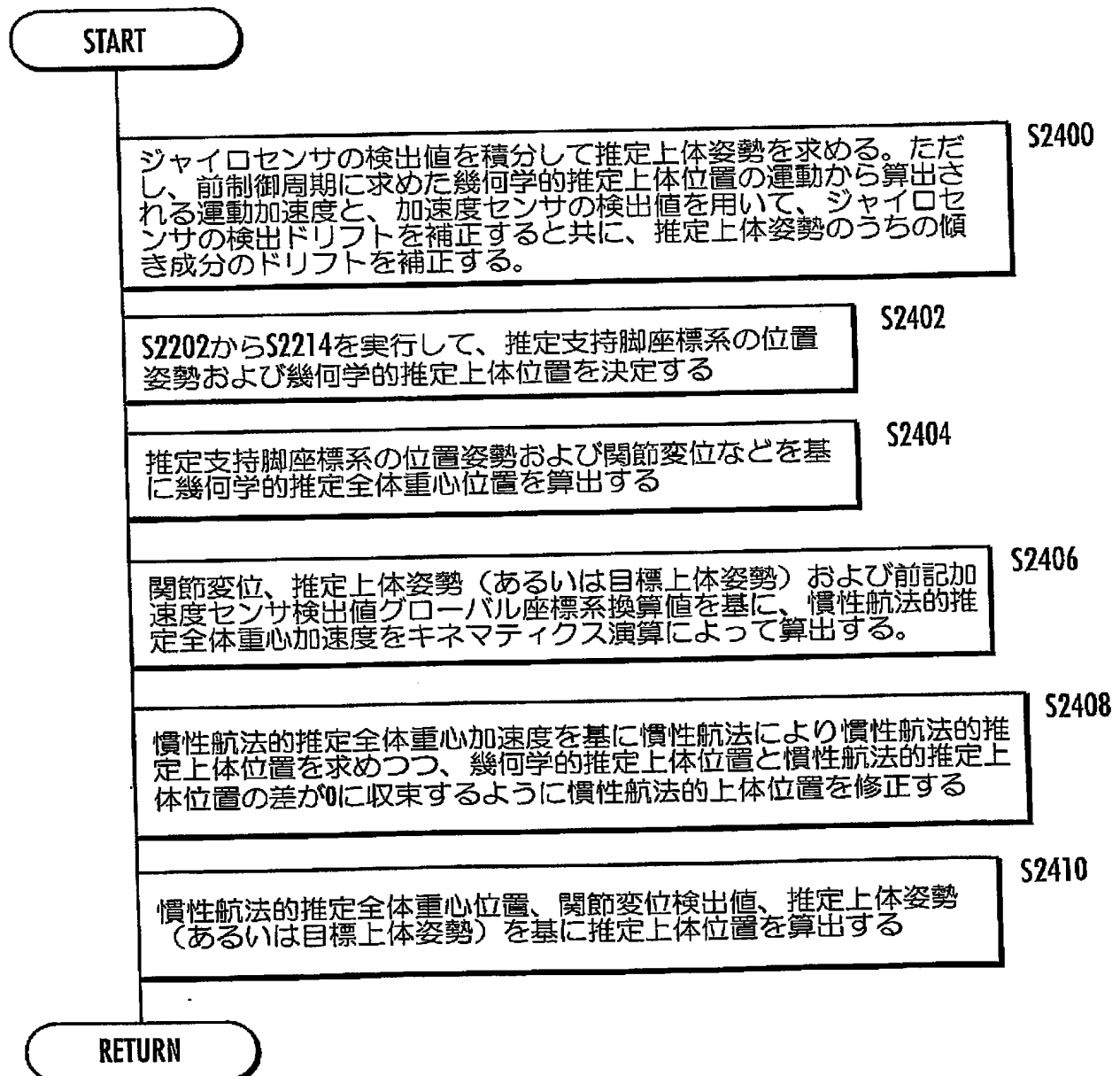
18 / 23

FIG.19



19/23

FIG.20



20 / 23

FIG.21

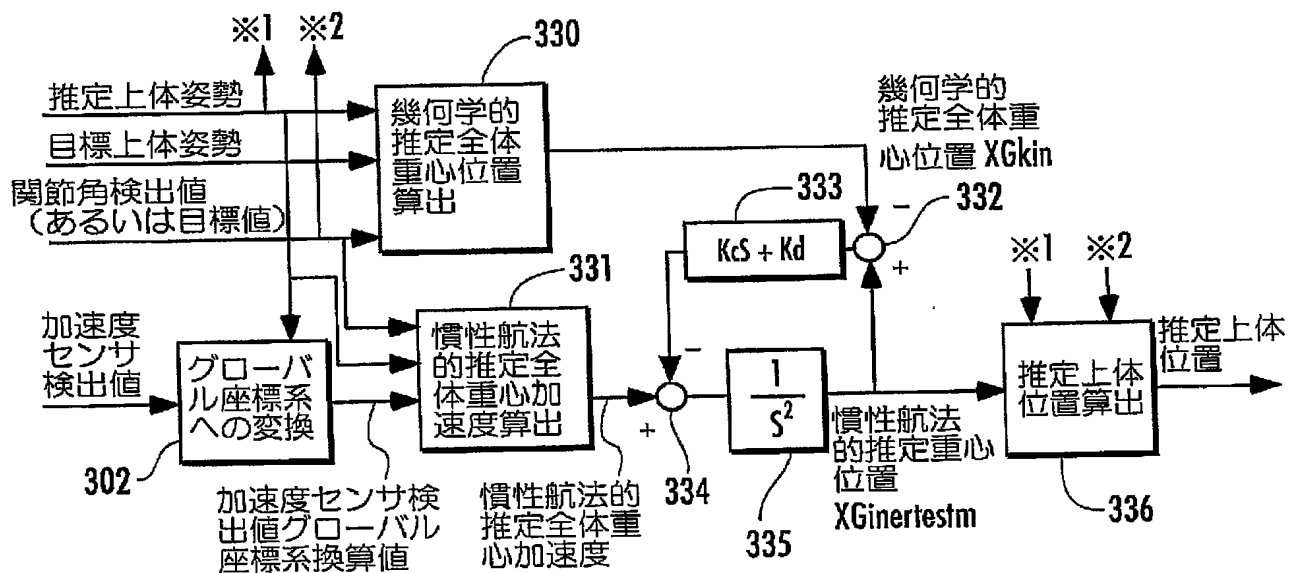
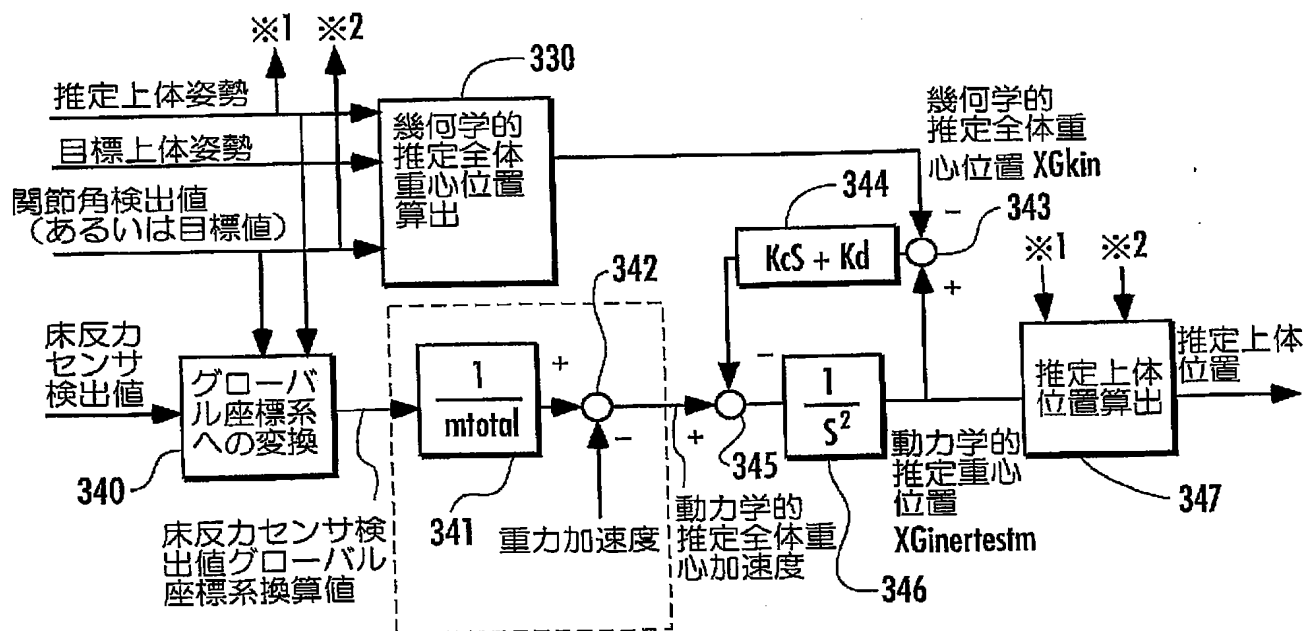
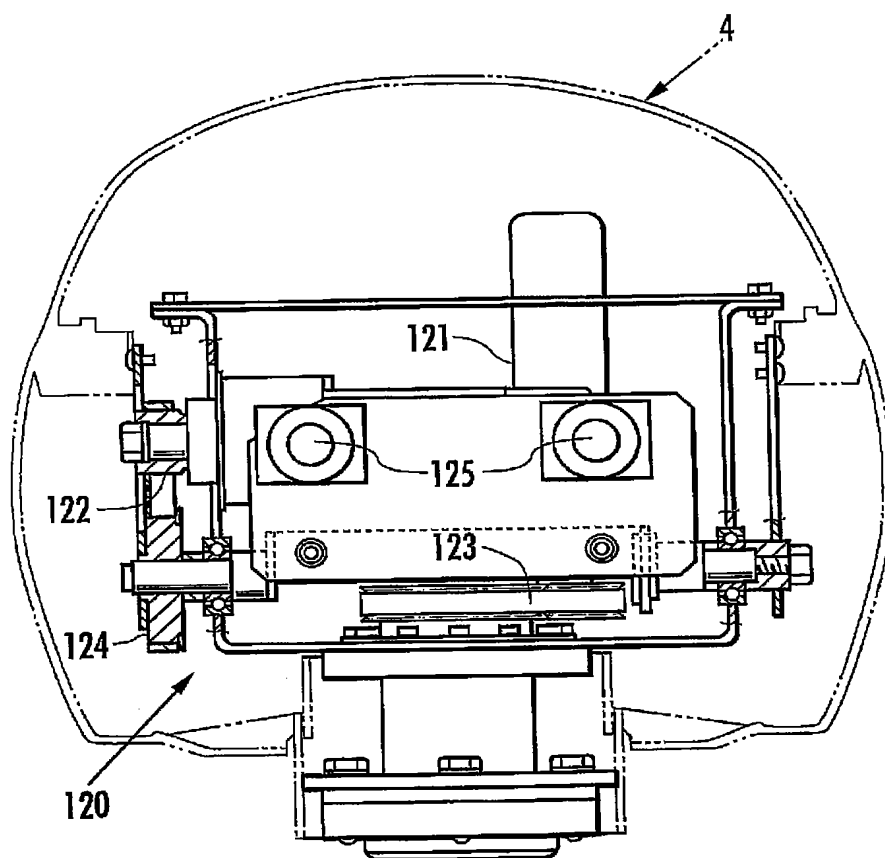


FIG.22



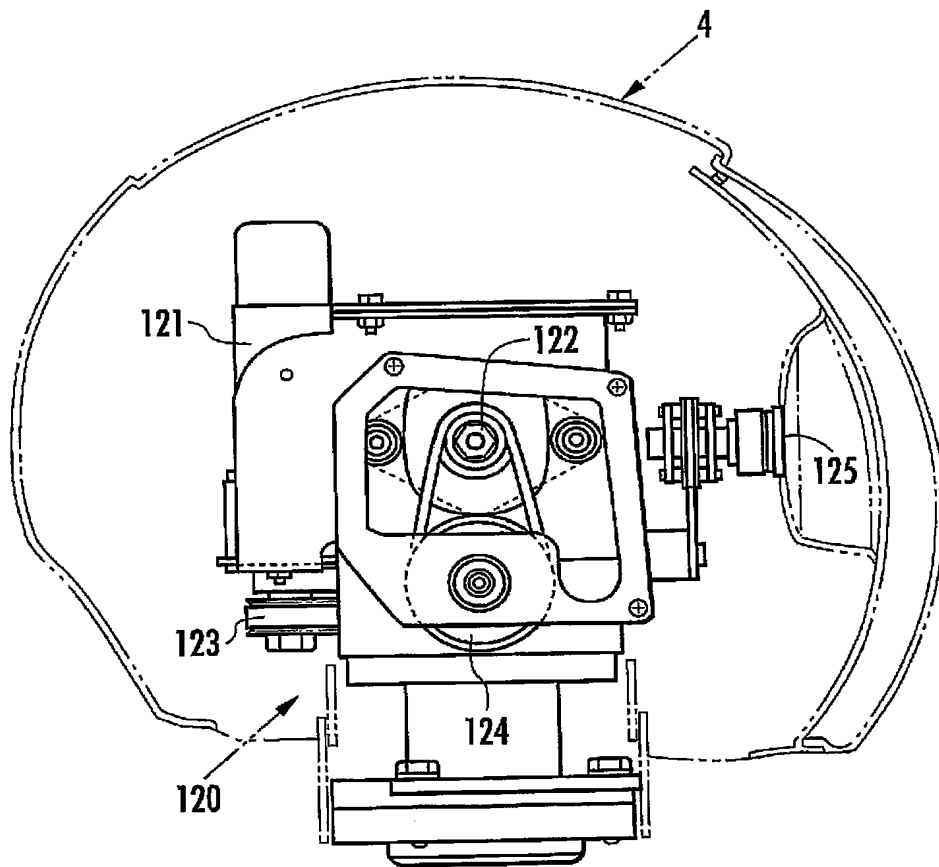
21 / 23

FIG.23



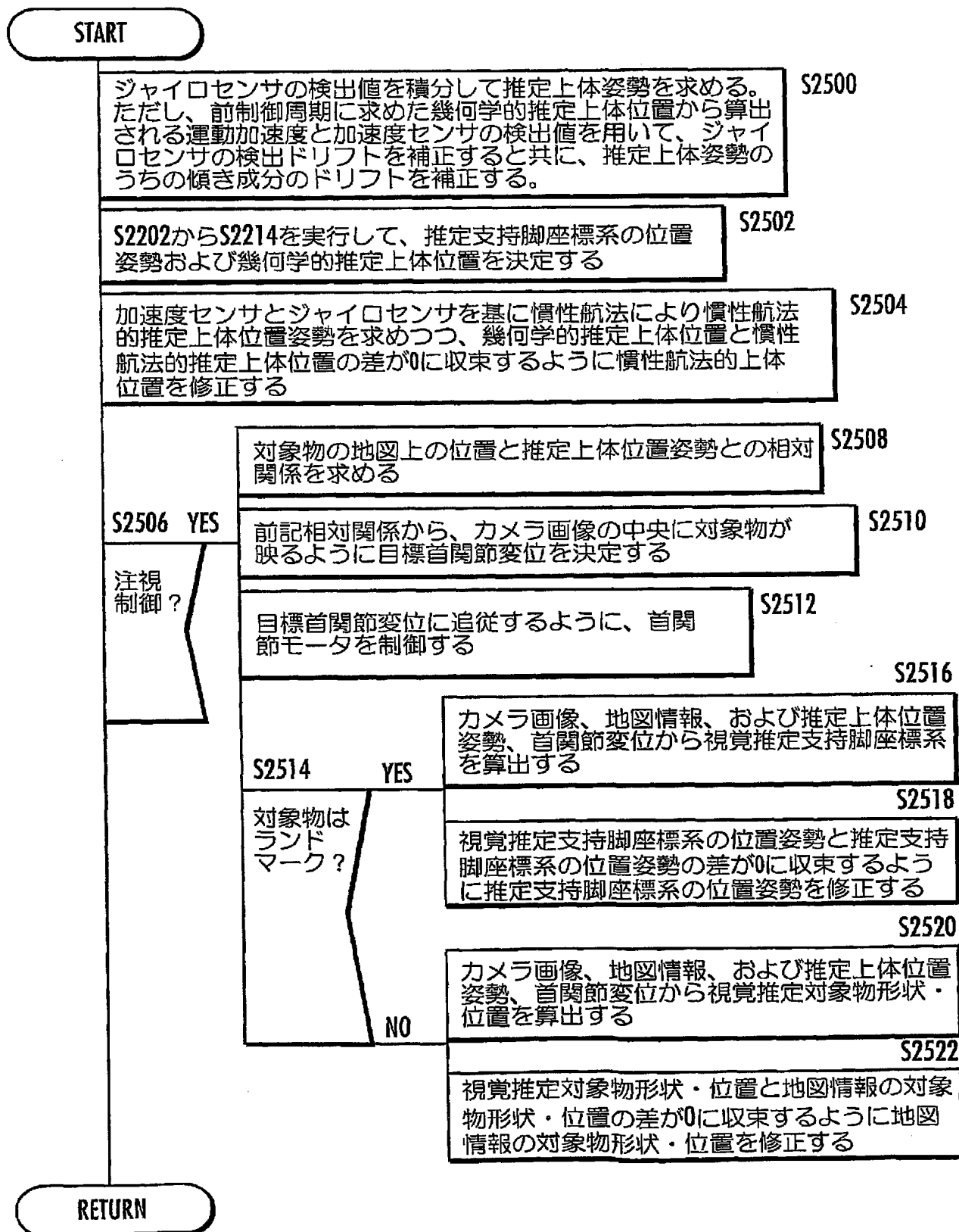
22 / 23

FIG.24



23 / 23

FIG.25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05448

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl.⁷ B25J5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl.⁷ B25J5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-153476 A (Honda Motor Co., Ltd.), 06 June, 2000 (06.06.00), Full text (Family: none)	1-37
A	JP 11-272983 A (Fujitsu Ltd.), 08 October, 1999 (08.10.99), Par. No. [0001] (Family: none)	1-37

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "B" earlier document but published on or after the international filing date
- "I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 July, 2003 (31.07.03)

Date of mailing of the international search report
12 August, 2003 (12.08.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.